

**AUTOMATIZACIÓN DEL PANTÓGRAFO ELECTRÓNICO DE MARCA
THERMADYNE VICTOR DE REFERENCIA AUTO 60S EN LA EMPRESA
CORTEMETAL S.A.S**

ANDRÉS QUINTERO LONDOÑO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2015**

**AUTOMATIZACIÓN DEL PANTÓGRAFO ELECTRÓNICO DE MARCA
THERMADYNE VICTOR DE REFERENCIA AUTO 60S EN LA EMPRESA
CORTEMETAL S.A.S**

ANDRÉS QUINTERO LONDOÑO

**Pasantía Institucional para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
WILLIAM GUTIÉRREZ MARROQUÍN
Magister en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2015**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al Título de Ingeniero Mecatrónico.

JIMMY TOMBE

Jurado

WILLIAM GUTIÉRREZ MARROQUÍN

Director

Santiago de Cali, 04 de Septiembre de 2015

La obtención de este logro se la quiero dedicar a Dios y mi familia; mis padres Esperanza Londoño Guerrero y Alberto Quintero Valdez y a mi hermano Leo, que con sus tantas enseñanzas y amor, me brindaron tanto aliento como apoyo que más ni se llegasen a imaginar. Agradezco a mis tantas dificultades porque en ellas encontré oportunidades, ya que cuando aparecían me indicaban que ya no se podía descender más y me enseñaron que solo quedaba mirar hacia arriba.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa CORTEMETAL SAS por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo. De igual forma agradezco a mis profesores y compañeros, que dieron todo de sí, para brindarme sus conocimientos y experiencias para poder culminar este proceso.

CONTENIDO

RESUMEN	Pág. 20
INTRODUCCIÓN	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 EL PROCESO PRODUCTIVO	22
1.1.1 Primer Proceso: Obtención de la plantilla.	22
1.1.2 Segundo Proceso: Obtención de la pieza.	24
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.	27
1.2.1 Problemática que rodea al proceso	28
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DONDE ESTA EL PROBLEMA	32
2.1 SECTOR A: EQUIPO DE PLASMA Y COMPRESOR	34
2.2 SECTOR B: GASES COMBUSTIBLES.	37
2.2.1 Materiales de corte por plasma y oxicorte	39
2.3 SECTOR C: MAQUINA + SOPORTE SOPLETES + MESA DE CORTE	41
2.3.1 Mesa de Copia	42
2.3.2 Mesa de Corte	44
2.3.3 Sistema Mecánico de la Maquina	44
2.3.3.1 Apoyo y Carro Longitudinal (Inferior)	45
2.3.3.2 Sistema Enganche - Desenganche Eje X	49
2.3.3.3 Carro Transversal	49

2.3.3.4 Soporte del controlador y Sistema de Enganche - Desenganche Eje X	52
2.3.3.5 Soplete de Oxicorte	53
3. SISTEMAS DEL PANTOGRAFO ELECTRONICO VICTOR AUTO 60S	54
3.1 COPIADOR ELECTRÓNICO HL-90	54
3.1.1 Funcionamiento	55
3.1.2 Consola de Mando	55
3.1.3 Compensación de Kerf	56
3.2 ACTUADORES ELECTRÓNICOS	57
3.3 ACTUADORES MECÁNICOS	59
3.4 OTROS ELEMENTOS	60
3.4.1 ON/OFF Paso de Gases Combustibles.	60
3.4.2 Regulador de Voltaje	60
4. JUSTIFICACION	61
5. ANTECEDENTES	63
5.1 SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CONVENCIONAL	64
5.2 RETROFIT	65
5.2.1 Retrofit a través de controles a base de PC	66
5.2.1.1 Mach 3	66
5.3 EL SISTEMA HIBRIDO	70
5.3.1 Picopath	71

5.3.2 Burny 2.5 Plus	72
6. MARCO TEORICO	74
6.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PANTOGRAFO ELECTRONICO	74
6.2 CORTE POR OXICORTE	75
6.3 CORTE POR PLASMA	76
6.4 MÁQUINAS- HERRAMIENTAS (MH)	77
6.5 MAQUINAS DE CONTROL NUMERICO POR COMPUTADOR (CNC) PARA MH	78
6.5.1 Elementos de un NC	79
6.5.1.1 Unidad de Control de la Maquina (MCU)	79
6.5.1.2 Lazos de Control en un CNC	80
6.5.1.3 Estrategias de control para la generación de trayectorias	83
6.5.1.4 Controlador Lógico Programable (PLC)	84
6.6 TECNICA DEL RETROFIT	85
6.7 MOTOR PASO A PASO	86
6.7.1 Técnicas de control en motores paso a paso	89
6.7.1.1 Técnica Micropasos	93
6.8 SERVOMOTORES	98
7. OBJETIVOS	99
7.1 OBJETIVO GENERAL	99
7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	99

8. DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DE LA MISION	100
9. IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES	102
9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	102
9.2 LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE	106
9.3 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS, MÉTRICAS Y UNIDADES.	109
9.4 BENCHMARKING	110
9.5 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)	111
9.5.1 Análisis del QFD	112
10. GENERACION Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS	116
10.1 Caja Negra	116
10.2 Descomposición Funcional	116
10.2.1 Descripción de los bloques de la descomposición funcional	117
10.3 GENERACION DE CONCEPTOS	117
10.4 COMBINACION DE CONCEPTOS	119
10.5 SELECCIÓN DEL CONCEPTO	126
10.5.1 Criterio de referencia	126
10.5.2 Matriz de Tamizaje	127
10.5.3 Matriz de Evaluación	128
10.6 ARQUITECTURA DEL CONCEPTO SELECCIONADO	130
10.7 PRUEBA DE CONCEPTO	130
11. DISEÑO DETALLADO	133

11.1 Diseño CAD de la Maquina	133
11.2 Conceptos utilizados en esta sección	135
11.3 Metodología Control Motion	136
11.3.1 Establecer los objetivos de movimiento	136
11.3.2 Los componentes Mecánicos En la Maquina	139
11.3.2.1 Sistema Piñón - Cremallera	140
11.3.3 Definir el ciclo de la carga	141
11.3.4 Calculo de la carga	143
11.3.5.1 Consideraciones de la Inercia.	155
11.3.6 Proceso llevado a cabo para seleccionar del Motor.	156
11.3.6.1 Selección del motor paso a paso	158
11.3.6.2 Selección del tipo de control del motor paso a paso	163
11.3.6.3 Selección del controlador comercial para el motor paso a paso	163
11.3.7 Características de comunicación	166
11.3.8 Requerimiento en entradas y salidas	167
11.3.9 Interfaz hardware - software (Breakout Board)	168
12. DIAGRAMA DE CONEXIONES.	170
13. CONFIGURACION DEL SOFTWARE MACH3	173
14. KIT DISEÑADO	174
15. DISPOSICION DE ELEMENTOS PARA EL MONTAJE	175

15.1 GABINETE ELECTRICO	175
15.2 DISPOSICION FINALES DE CARRERA Y HOME	176
15.3 UBICACIÓN MOTORES	177
15.4 UBICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS EN EL AREA PRODUCTIVA.	179
16. CONCLUSIONES	180
17. RECOMENDACIONES	182
BIBLIOGRAFIA	184
ANEXOS	189

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano Físico traído por el Cliente	22
Figura 2. Plantilla finalizada.	23
Figura 3. a) Pieza traída por el Cliente. b) Plantilla Realizada	23
Figura 4. Lector óptico recorriendo la plantilla	25
Figura 5. Resultado de la pieza a partir de planos.	25
Figura 6. Obtención de la pieza traída por el cliente	26
Figura 7. Corte Múltiple	26
Figura 8. Diagrama en función del tipo de cliente	27
Figura 9. Maquina en funcionamiento	29
Figura 10. Mesa de Trazo, Mesa de Corte, Plantilla, Plancha metálica dispuesta al corte.	29
Figura 11. Creación de Plantilla	30
Figura 12. Plantilla en escala 1:1	30
Figura 13. Optimización de Material	31
Figura 14. Área productiva del corte de contornos definido	33
Figura 15. Sector A	34
Figura 16. Elementos entre el equipo de plasma y compresor	35
Figura 17. Equipo de corte por Plasma en la empresa	35
Figura 18. Antorcha PT-21AMX	36
Figura 19. Diagrama de conexión en Mesa de corte XY.	36
Figura 20. Compresor.	37

Figura 21.	Pipas y disposición de las mangueras de oxiacetilino y plataforma de distribución	38
Figura 22.	Mangueras de oxiacetileno	38
Figura 23.	Pipa Oxigeno liquido (plateado) y Gas propano (Azul)	39
Figura 24.	Pantógrafo Electrónico Auto 60S	41
Figura 25.	Mesa de copia	43
Figura 26.	Mesa de corte. Vista trimétrica	44
Figura 27.	Arquitectura del sistema Mecánico de la Maquina.	44
Figura 28.	Perfiles en T	45
Figura 29.	Soportes	45
Figura 30.	Carro Longitudinal	46
Figura 31.	Vista lateral del carro longitudinal	47
Figura 32.	Vistas Trimétrica del carro longitudinal	47
Figura 33.	Diferentes vistas del carro longitudinal	48
Figura 34.	Sistema Enganche – Desenganche en el Carro Longitudinal	49
Figura 35.	Vistas del Carro Transversal	50
Figura 36.	Soporte del controlador	52
Figura 37.	Soplete para oxicorte	53
Figura 38.	Copiador electrónico HL-90.	54
Figura 39.	Consola de Mando	55
Figura 40.	Conexiones externas del controlador.	56
Figura 41.	Modulo del control del kerf en la cabeza del lector óptico.	57
Figura 42.	Motor	58

Figura 43.	Sistema – Cremallera piñón	59
Figura 44.	Válvula Solenoide	60
Figura 45.	Regulador de Voltaje	60
Figura 46.	Proceso Típico involucrado en el corte en una Maquina - Herramientas	64
Figura 47.	Solución Retrofit CNC.	65
Figura 48.	Solución Retrofit haciendo uso Sinumerik 840D SL de la empresa Siemens.	66
Figura 49.	Interfaz gráfica del software mach3 CNC Controller.	67
Figura 50.	Lazo abierto con mach3	68
Figura 51.	Elementos del retrofit a base de PC para lazo abierto haciendo uso de mach3	68
Figura 52.	Lazo cerrado con mach3	69
Figura 53.	Control en cascada en un servodrive digital.	69
Figura 54.	Elementos del retrofit a base de PC para lazo cerrado haciendo uso de mach3.	70
Figura 55.	Picopath	72
Figura 56.	Burny 2.5 plus integrado al HL-90	73
Figura 57.	Diferentes mecanismos de pantógrafos.	74
Figura 58.	Oxidación del metal por medio de oxicorte	76
Figura 59.	Oxidación del metal por medio de plasma	77
Figura 60.	Estructura de una Máquina-Herramienta de NC.	78
Figura 61.	Descomposición de la unidad de control del NC.	80
Figura 62.	Control en cascada en un CNC	81

Figura 63.	Lazo abierto de control en CNC	82
Figura 64.	Otros Lazos de control en un CNC.	82
Figura 65.	Configuraciones motores paso a paso unipolares	87
Figura 66.	Configuraciones motor paso a paso bipolar	88
Figura 67.	Diagrama de Fase Control por micropasos	95
Figura 68.	Corriente del motor vs micro pasos	96
Figura 69.	Técnica de micropasos	96
Figura 70.	Vista desde la transición del rotor según el tipo de control utilizado	97
Figura 71.	Circuito realimentado haciendo uso de un servo driver	98
Figura 72.	Kit Solución retrofit Hyperthem	111
Figura 73.	Matriz QFD del proyecto	113
Figura 74.	Caja Negra	116
Figura 75.	Descomposición Funcional	117
Figura 76.	CNC hace algunos años vs CNC basado en PC	122
Figura 77.	Representación del concepto A	122
Figura 78.	Representación del Concepto B	123
Figura 79.	Representación del Concepto C	125
Figura 80.	Modelo CAD Pantógrafo Victor Auto 60S de la marca Thermadyne	133
Figura 81.	Cremallera - piñón	140
Figura 82.	Características del perfil trapezoidal	142
Figura 83.	Referencias de los elementos que componen la cadena cinemática del eje Y.	144

Figura 84.	Habilitación complemento SolidWorks Motion	146
Figura 85.	Posición inicial de la máquina para el análisis.	146
Figura 86.	Barra de la pestaña estudio de movimiento	147
Figura 87.	Adicción del factor Gravedad	147
Figura 88.	Ubicación del motor giratorio en el eje del motor.	148
Figura 89.	Construcción del perfil de movimiento	149
Figura 90.	Configuración Perfil de movimiento trapezoidal	151
Figura 91.	Configuración Final	151
Figura 92.	Obtención de resultados	152
Figura 93.	Grafica Torque (Nm) vs Tiempo (s) Para el eje X.	152
Figura 94.	Configuración para resultados de Inercia aparente de la carga	153
Figura 95.	Inercia Total referida el eje del motor en el eje X.	153
Figura 96.	a) Torque en el eje del motor en el eje Y b) Inercia Total referida al eje del motor Y	154
Figura 97.	Modelo PKP264D07A-SG10-L	159
Figura 98.	Modelo PKP264D14A-SG18-L	161
Figura 99.	Fuente de voltaje conmutable Modelo KL-350-36	164
Figura 100.	Drive seleccionado KL-4030	165
Figura 101.	BreakBoard Mach3 Motion Card modelo MK346	168
Figura 102.	Fuente de 24V/6.3A Switching CNC Power Supply (KL-150-24)	169
Figura 103.	Interfaz entre el circuito de control y circuito de potencia posible en las salida del mach3 motion card.	171

Figura 104.	Montaje en el cofre eléctrico	175
Figura 105.	Eje Y: Limite Y- y Home Y	176
Figura 106.	Eje X: Limite X- y Home X	177
Figura 107.	Ubicación motor Eje Y.	178
Figura 108.	Ubicación motor Eje X	178
Figura 109.	Cofre Metálico. Modelo RB COF60	189
Figura 110.	Modelo EEC0252B1-G99	190
Figura 111.	Breaker de Riel ABB Monopolar 1 x 10A	191
Figura 112.	Botón de emergencia Schneider Electric referencia XALK178	191
Figura 113.	Relé de estado sólido. Modelo G3NA-210B-DC5-24	192
Figura 114.	Columna de Señalización de dos elementos XVMB1RG 24Vdc	192
Figura 115.	Horqueta en VY	193
Figura 116.	Aislada en nylon hembra amarillo FF5-6 10-12	193
Figura 117.	Regleta 12 puntos conexión 12 AWG	193
Figura 118.	Cable AWG10 y 14	194
Figura 119.	Interruptor de Fin de Carrera de Seguridad	195
Figura 120.	Interruptor de Fin de Carrera de Seguridad roldana	195

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Materiales cortados por el equipo de Plasma Power Cut 1250	39
Tabla 2. Materiales cortados por Oxicorte	39
Tabla 3. Kit de modernización. Linatrol System inc.	72
Tabla 4. Estrategias de control	83
Tabla 5. M-Code Típicos de un controlador CNC	84
Tabla 6. Secuencia Half Step	91
Tabla 7. Secuencia micropasos	94
Tabla 8. Escala de calificación	107
Tabla 9. Planteamiento de las necesidades.	107
Tabla 10. Requerimientos	109
Tabla 11. Tabla para combinación de conceptos	120
Tabla 12. Criterios para la selección de concepto	126
Tabla 13. Matriz de Tamizaje	127
Tabla 14. Escala y Matriz para la matriz de evaluación.	129
Tabla 15. La arquitectura del concepto modular	130
Tabla 16. Datos de los motores actuales	138
Tabla 17. Segmentos de un perfil trapezoidal	142
Tabla 18. Piezas en el eje longitudinal.	145
Tabla 19. Resultados en simulación	155
Tabla 20. Comparación Servomotor vs Motor paso a paso.	157

Tabla 21.	Determinación razón de inercia de diferentes motores que cumplen los requerimientos de torque.	158
Tabla 22.	Especificaciones Tecnicas del Modelo PKP264D07B-SG10-L	160
Tabla 23.	Especificaciones Tecnicas del Modelo PKP264D14A-SG18-L	162
Tabla 24.	Elementos de entradas y salidas	168
Tabla 25.	Características Tecnicas Breakout Board	169

RESUMEN

En este trabajo se presenta el procedimiento llevado a cabo bajo la metodología de diseño concurrente que tiene como resultado la presentación de 1 propuesta a la empresa CORTEMETAL SAS¹ para la repotenciación del pantógrafo electrónico VICTOR AUTO 60S de la marca Thermadyne; equipo especializado en el corte de chapas metálicas para contornos definidos en 2D haciendo uso del oxicorte o plasma. El equipo cuenta con aproximadamente 30 años de uso, esté utiliza un lector óptico que en compañía del controlador HL-90, realiza la lectura de una plantilla ya sea diseñada a mano por el operario haciendo uso de instrumentos geométricos de dibujo o a partir del recorte de una impresión en escala 1:1 de la pieza. Este proceso evidencia que se extrapola la labor del operario, además de generar costos extras en el proceso de fabricación de la plantilla y resultados finales no aptos a las necesidades actuales de los clientes. Entre los principales objetivos del proyecto se encuentra dotar la máquina de la capacidad CNC, teniendo la restricción de dejar intacto el sistema mecánico actual que tiene tolerancias del orden de 2 a 3 mm, como máximo. El interés del cliente no radica en entrar a competir con las exigencias actuales de mesas de corte que dan tolerancias inferiores a 0.05 mm, sino descargar funciones al operario al igual que tanto las implicaciones como el resultado que lleva seguir usando este procedimiento.

Palabras Claves: Automatización, Control Numérico, Oxicorte, Pantógrafo electrónico, Plasma, Retrofit.

¹ La empresa CORTEMETAL SAS .Santiago de Cali.

INTRODUCCIÓN

La automatización de un equipo industrial otorga al empresario un beneficio en la rentabilidad y productividad en la fabricación de un producto resultando ser de alta calidad y bajo costo. Esto en la prestación de sus servicios, significa estar a la vanguardia de necesidades cada vez más especializadas por parte de los clientes y un claro beneficio económico a largo plazo.

Teniendo en cuenta esto, la empresa CORTEMETAL S.A.S, ubicada en la ciudad de Santiago de Cali, que presta entre sus servicios metalmecánicos, el corte de chapas metálicas para la elaboración de piezas en 2D, ha identificado que el pantógrafo VÍCTOR AUTO 60S de la marca Thermadyne, ya no se encuentra acorde a la evolución de las necesidades de sus clientes; debido a que los cortes están definidos por la habilidad del operario al dibujar manualmente sobre un papel, arriesgando la precisión del diseño. Este dibujo se denomina: la plantilla. Está se asegura en una mesa incluida en el pantógrafo con una serie de pesas (Ver figura 4). En el eje longitudinal de la máquina se encuentra fijado un lector óptico el cual al funcionar la maquina en modo automático sigue el contorno de la plantilla, mientras que con técnicas alternativas de soldadura como el oxicorte o el plasma, va cortando la chapa metálica, en una mesa contigua, en función del movimiento del lector. Esto se traduce en piezas que no tienen precisión en sus cortes, y en cotizaciones mucho más costosas que sus competidores, debido a los elementos extras que intervienen en la producción del diseño.

El problema se ha resuelto en este tipo de áreas, bajo la línea de trabajo que se apoya sobre el concepto de Retrofit², integrando sistemas CAD/CAM* y CNC* especializados en proceso de oxicorte y plasma, reemplazando los controladores obsoletos de la máquina. Sin embargo, los altos costos de importación de esta tecnología no han hecho posible la modernización del equipo en la empresa. Así, la realización de este proyecto, se traduce en un paso muy importante para la empresa; esto es acercarse a una solución que ayude a recuperar el segmento de mercado perdido en esta línea de servicio metalmecánico y de actualización tecnológica para la máquina.

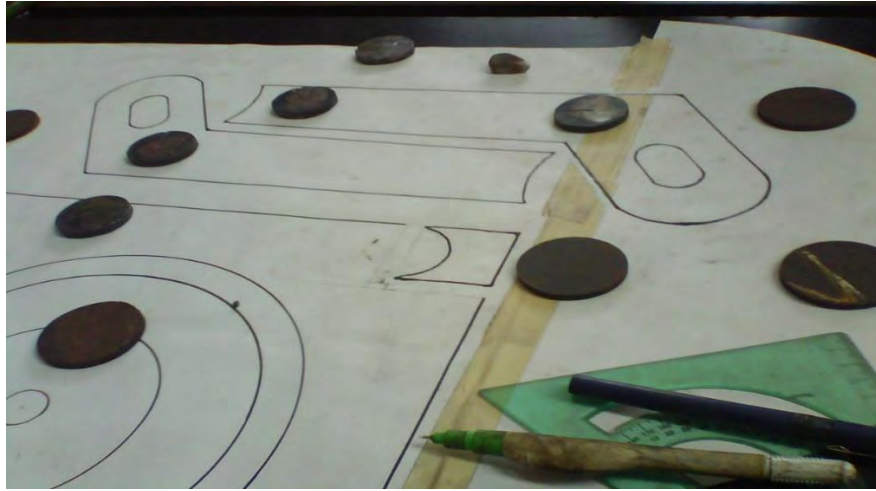
² Un retrofit es el cambio de equipos obsoletos por equipos nuevos, conservando la parte mecánica en buen estado, realizando un mínimo de modificaciones al tablero existente [En línea].Schneider Electric. Retrofit. Schneider Electric [Consultado en Marzo de 2015]. Disponible en Internet: <http://goo.gl/YDmcW6>

* CAD: Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora).

*CAM: Computer Aided Manufacturing (Manufactura asistida por computadora).

*CNC: Computer Numerical Control (Control Numérico computarizado)

Figura 2. Plantilla finalizada.



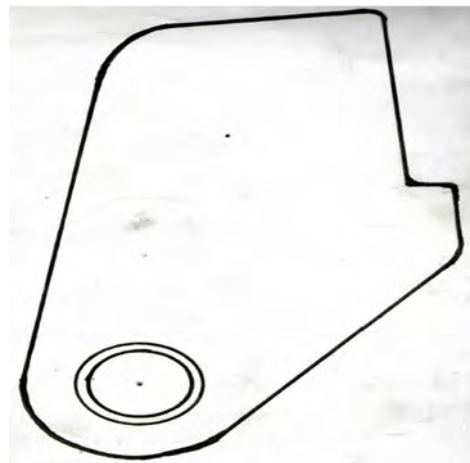
Fuente: Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

El segundo tipo de cliente, es quien no trae planos ni alguna dimensión de la pieza, sino que la trae físicamente o con la idea en su cabeza de como la necesita, para esto se remite directamente al operario de la máquina, él procede a realizar un dibujo sobre una hoja que se aproxime a la pieza y/o al diseño esperado y al ser validado por el cliente, el operario procede de nuevo a elaborar la plantilla en una cartulina blanca.

Figura 3. a) Pieza traída por el Cliente. b) Plantilla Realizada



a)

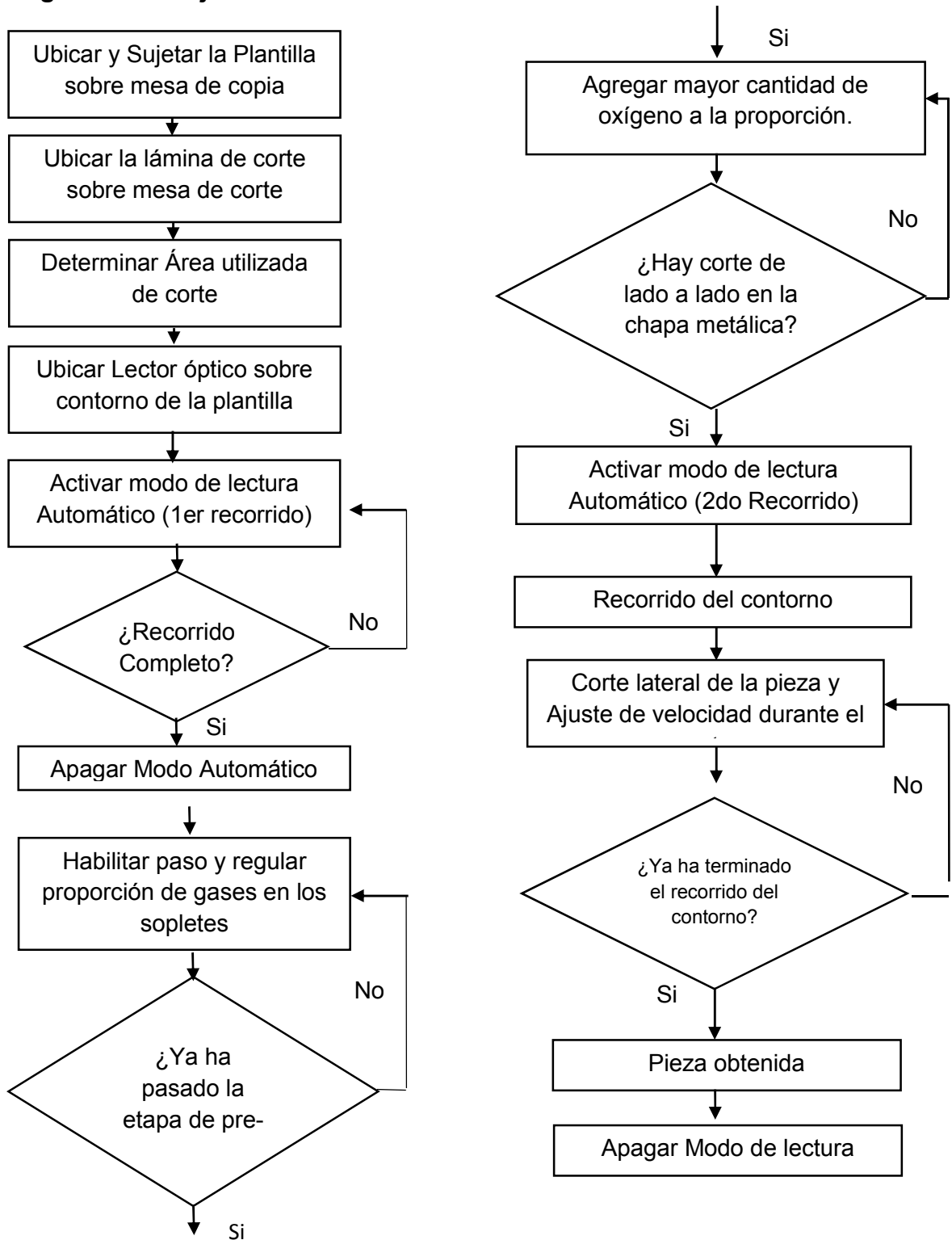


b)

Fuente: Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

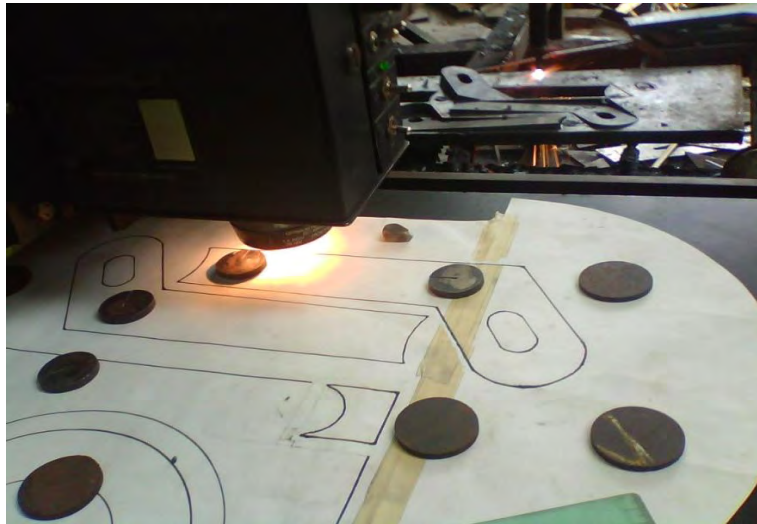
1.1.2 Segundo proceso: Obtención de la pieza.

Diagrama de Flujo



En caso de usar plasma, se lleva el mismo proceso sino que aquí el encendido y apagado del equipo de plasma (Power cut 1250) se hace con un interruptor, y la regulación de la potencia del plasma, se hace desde la consola de mando que esté tiene (ver figura 17). Adicionalmente con el equipo de plasma se hace uso de un compresor de aire para suministrar un flujo de aire a cierta velocidad mientras se está cortando.

Figura 4. Lector óptico recorriendo la plantilla



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Figura 5. Resultado de la pieza a partir de planos.



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Figura 6. Obtención de la pieza traída por el cliente. **a)** Material utilizado. **b)** Pieza obtenida



a)



b)

Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Cuando en la pieza existan varios contornos, como un agujero interno dentro de la pieza (ver figura 6), el operario primero tiene que hacer el corte de ese primer contorno que corresponde al agujero, se termina el proceso de corte y luego se reconfigura la consola de mando para realizar el siguiente contorno. En la figura 6.b se puede observar el resultado del agujero.

En caso de necesitar 60 piezas como la de la figura 5, existe la opción de mover manualmente por el sistema de engrane y desengrane, el carro inferior junto con la mesa de copia para ubicar el soplete en una nueva zona de la lámina y hacer esto una y otra vez hasta alcanzar la cantidad requerida, o la otra opción es hacer uso en total de dos sopletes de oxicorte que se dispone en la máquina.

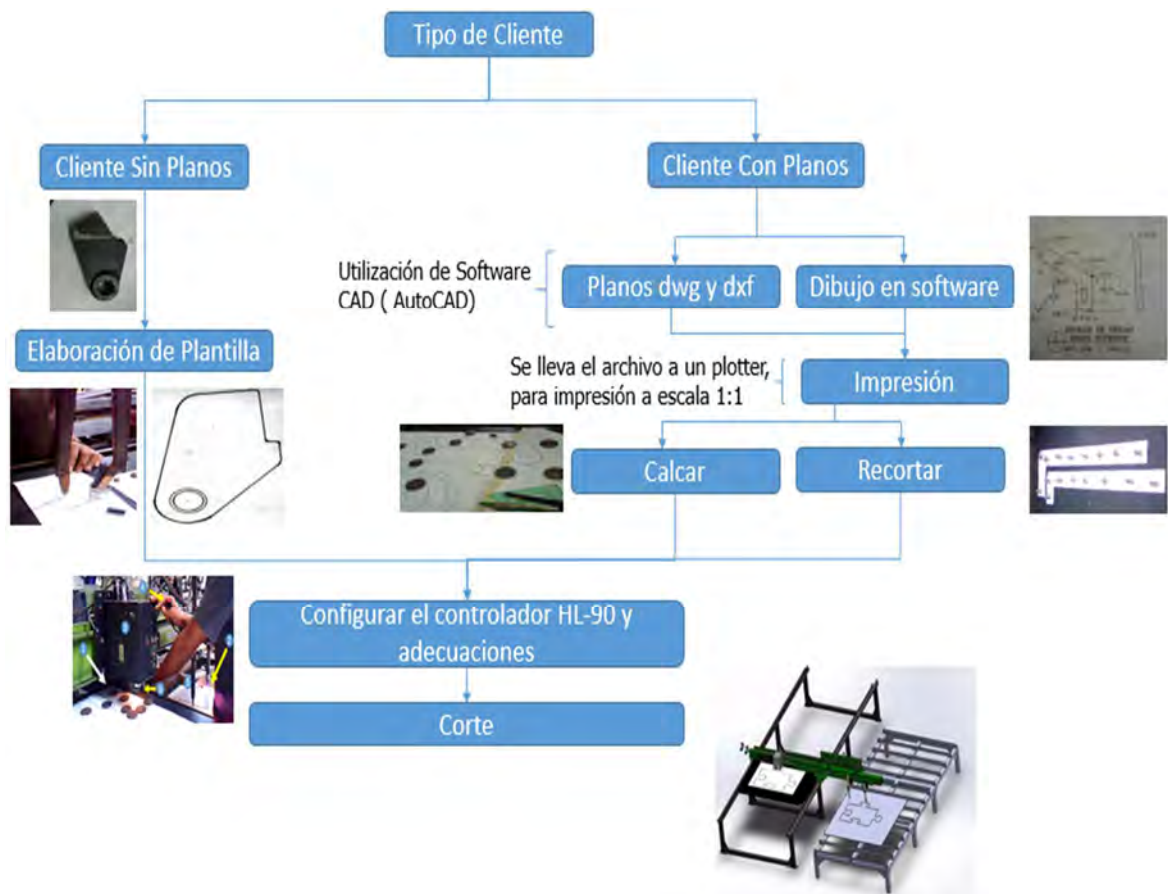
Figura 7. Corte Múltiple



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Antes del inicio de ambos procesos se enciende un ventilador en posición perpendicular a la máquina, con el objeto de que las partículas de polvo metálico del corte, no lleguen en su mayor cantidad al operario. En la empresa no se tiene sistemas de extracción.

Figura 8. Diagrama en función del tipo de cliente.



1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.

Desde hace 20 años aproximadamente el proceso para la obtención de la pieza es muy dependiente de la elaboración de la plantilla, única forma de la cual puede trabajar el Lector óptico y su controlador HL – 90 para realizar un corte haciendo uso del pantógrafo Victor Auto 60S. Esto hace el proceso dependiente en gran medida de la habilidad de dibujo del operario y conlleva costos extras que se mencionan en la sección denominada justificación.

1.2.1 Problemática que rodea al proceso. Actualmente la máquina que se dispone en la empresa CORTEMETAL S.A.S. para el corte de chapas metálicas es el pantógrafo VICTOR AUTO 60S de la marca Thermadyne. Para realizar un corte, el operario realiza una serie de operaciones de trazado en forma manual, lo cual presenta algunas limitaciones en algunas de las características de los cortes realizados.

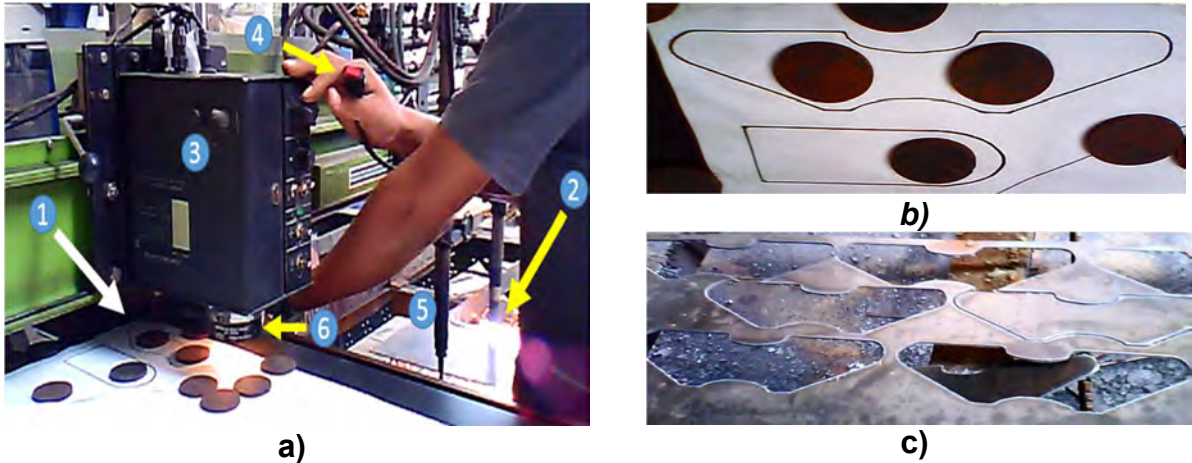
Cuando se tiene el diseño dimensionado y se le entrega al operario, él con diferentes herramientas para dibujo como el compás, juego de escuadras, transportador, etc. procede a crear la plantilla. Para ello, como primera medida se realizan las líneas de construcción del dibujo en un papel de fondo blanco del tamaño igual al diseño solicitado; en un principio se hizo uso del lápiz rojo o de un bolígrafo de tinta roja, debido a que el copiador detecta la tinta roja, según el manual del fabricante, con esto sucedía que el tiempo de trabajo se extendía, por ello, actualmente, las líneas de construcción se realizan directamente con un rapidógrafo que utiliza una tinta especial denominada nankin, de color negro; estas líneas deben cumplir con tener un ancho mínimo de 0.7 mm. También está la posibilidad de hacer los dibujos con lápiz H o HB, cumpliendo que la línea tenga una espesor mínimo de 0.5 mm, sin embargo, en la práctica no arrojo los resultados esperados. Con el anterior proceso, queda lista la plantilla (ver Figura 9.b) para ser puesta sobre una mesa lectora de plantillas, en el lado izquierdo del pantógrafo denominada Mesa de copia (Ver Figura 10.a).

Existe la posibilidad de selección de un segundo modo de corte, denominado “manual”, y es controlado en todo el proceso por el operario, el cual ajusta diferentes parámetros de corte, para realizar cortes rectos en los sentidos longitudinal (inferior), o transversal (superior).

En apartados anteriores ya se trató tanto el tema de la existencia en una plantilla de un contorno externo y uno interno y sus problemas como la posibilidad de corte múltiple.

Con el fin de optimizar la cantidad de material utilizado, el operario selecciona a su criterio, la mejor posición de la lámina. (Ver figura 13).

Figura 9. Maquina en funcionamiento. **a)** 1. Plantilla. 2. Corte en la plancha metálica. 3. Consola de mando. 4. Interruptor para Activar/Desactivar el suministro de plasma en el soplete. 5. Soplete de corte. 6. Lector óptico. **b)** Plantilla preparada. **c)** Resultado obtenido.



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Figura 10. **a)** Mesa de Trazo (izquierda) **b)** Mesa de Corte (derecha) **c)** Plantilla **d)** Plancha metálica dispuesta al corte.



Fuente. Corte en Pantógrafo Electrónico con Lector Óptico HL-90. [En línea] perfimetltda. [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: <http://www.perfimetltda.cl/#>.

Con lo anteriormente descrito, se presentan las siguientes características a mejorar en el proceso:

- La primera de ellas es la dependencia que tiene la precisión del corte, de la habilidad del operario al dibujar manualmente, esto se traduce en una pieza que puede carecer de presentación y calidad hacia el cliente.

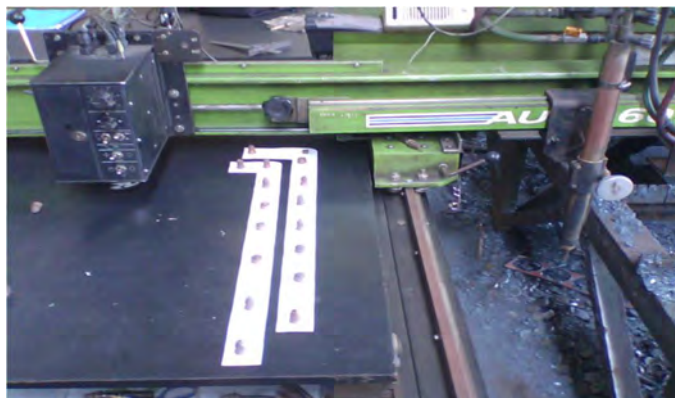
Figura 11. Creación de Plantilla



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

- La segunda es que, obligatoriamente se necesita de un dibujo físico en papel dimensionado en escala 1:1 para que la maquina pueda copiarlo exactamente en la plancha metálica.

Figura 12. Plantilla en escala 1:1



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

- La tercera situación radica en que la maquina no tiene la capacidad para pasar de un contorno a otro sin la ayuda manual del operario.

Y se dan otras situaciones:

- Extrapolación de las actividades del operario.
- Problemas en la masificación de una pieza.
- El costo de fabricación de la pieza se ve incrementado por el costo extra de transporte para la impresión, cartulina, tintas y tiempo del operario empleado en la fabricación de la plantilla.
- Bordes Irregulares que tiene que pasarse a un proceso de refinamiento posterior.
- La tolerancia del sistema mecánico es 2 – 3 mm.
- Optimización del material a ensayo y error.

Figura 13. Optimización de Material



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

Con respecto al controlador se tiene:

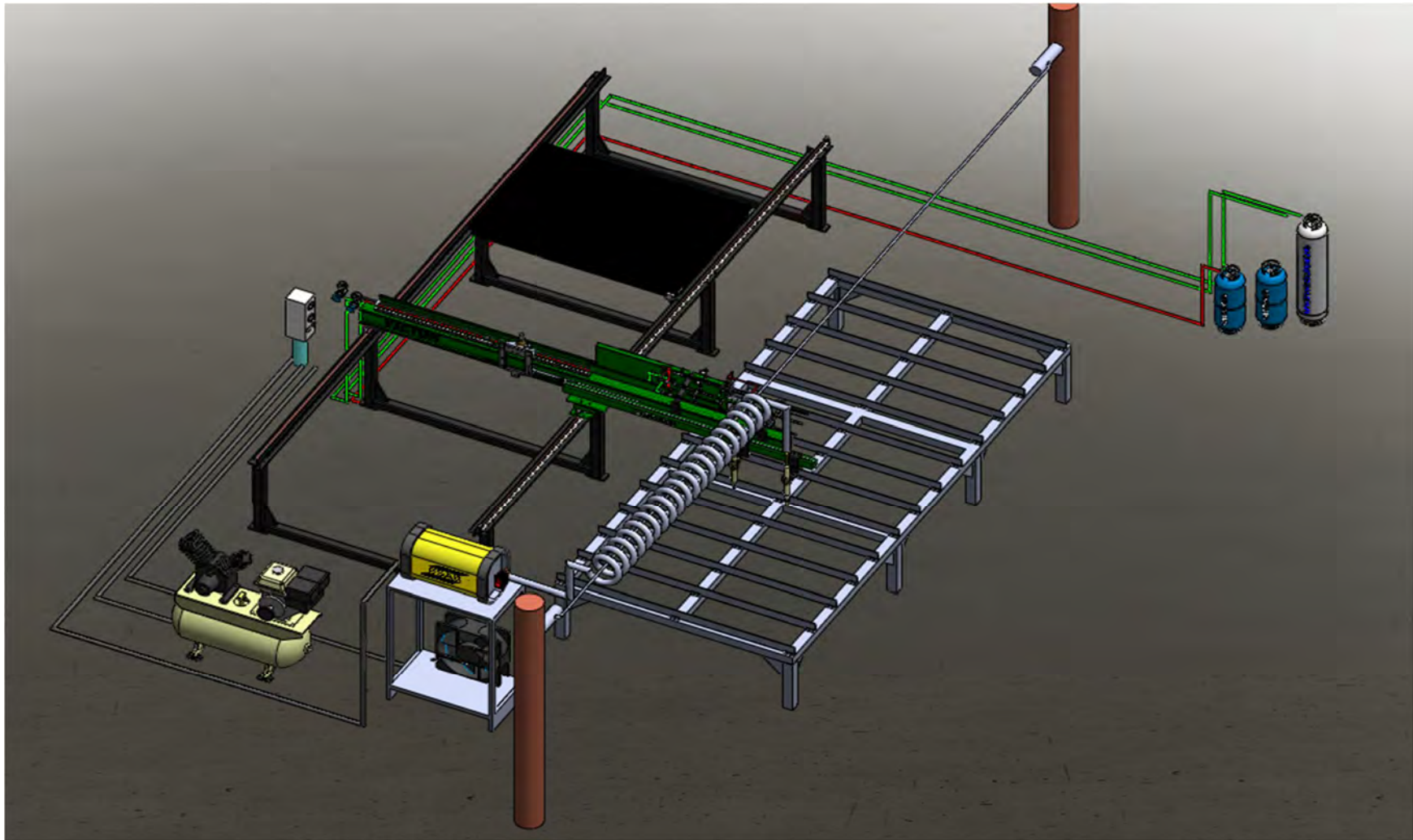
- Discontinuidad del lector óptico.
- Imposibilidad de conseguir repuestos.
- No hay soporte Técnico para reparaciones a nivel local, nacional ni en Suramérica. Únicamente se encuentra Linatrol System Inc. en Canadá; empresa que fabrico el controlador HL-90.

Así con este proyecto se pretende repotenciar la máquina de tal forma que permita hacer frente a la demanda que requiere el mercado actual en el segmento de corte en planchas metálicas cuando se tiene un diseño en formato DXF o DWG y eliminar la plantilla como único medio de obtención del corte.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DONDE ESTA EL PROBLEMA

El área productiva específica del proyecto es la mostrada en la figura 14, y el proyecto tiene como elemento principal el pantógrafo electrónico destinado a realizar cortes de un contorno definido para obtener la pieza, con la característica de que no existe un contacto físico entre la lámina a cortar y los instrumentos utilizados para el corte (no existe arranque de viruta). Este proceso de identificación de los diferentes sectores del área productiva permitió comprender la problemática descrita anteriormente, además de identificar las necesidades y especificaciones que debería tener el diseño, esto se tratara en apartados posteriores. A continuación se describe los diferentes subsectores que componen esta área productiva con el objeto de identificar el entorno que rodea la problemática.

Figura 14. Área productiva del corte de contornos definido en la empresa CORTEMETAL SAS³

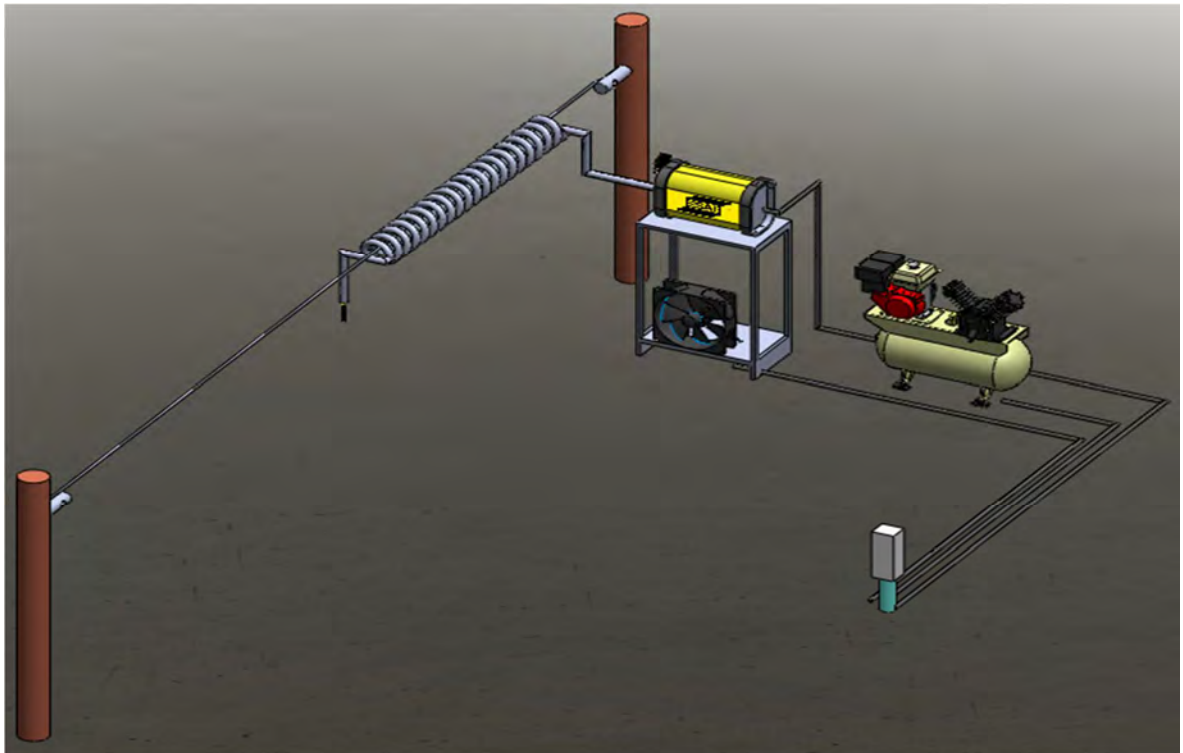


³ Modelos desarrollados en SolidWorks Student Edition 2014 SP5. Licenciado a la Universidad Autónoma de Occidente.

Las variables del proceso viene determinadas por: los gases empleados, La velocidad de corte, la energía empleada o intensidad de arco, distancia entre la boquilla y la pieza, el caudal y la presión de los gases empleados. Así para conseguir mejores cortes depende en gran medida al control de estos parámetros.

2.1 SECTOR A: EQUIPO DE PLASMA Y COMPRESOR

Figura 15. Sector A



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

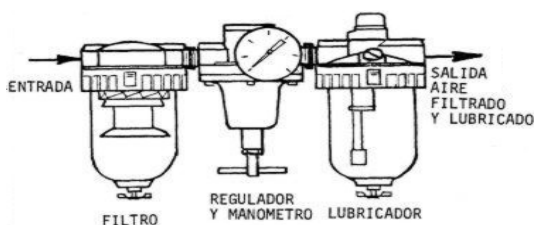
Descripción funcional en el área. En la maquina se puede cortar con oxicorte (oxigeno + Gas propano) o con plasma. “El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 20.000 °C, llevando el gas utilizado hasta el cuarto estado de la materia, el plasma, estado en el que los electrones se disocian del átomo y el gas se ioniza (se vuelve conductor), para que de esta forma se genere un corte más preciso⁴”.

⁴ Plasma. [En línea] cortemetal [Consultada en Marzo de 2015.]. Disponible en internet: <http://cortemetal.com.co/cortemetal-servicios-metalmecanicos/>.

Para el plasma se hace necesario una fuente de aire comprimido (165 l/min @ 5.5 bars) para suministrar un flujo de aire a cierta velocidad mientras se está cortando.


Entre el compresor de aire y el equipo de plasma se encuentra la unidad de mantenimiento del compresor como el que se muestra en la imagen 16, precisamente para regular la presión de aire y limpiar las impurezas del sistema.

Figura 16. Elementos entre el equipo de plasma y compresor



Fuente. Conceptos Básicos de Neumática e Hidráulica. [En línea] sapiensman [Consultado en Marzo de 2015]. Disponible en internet: http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica3.htm

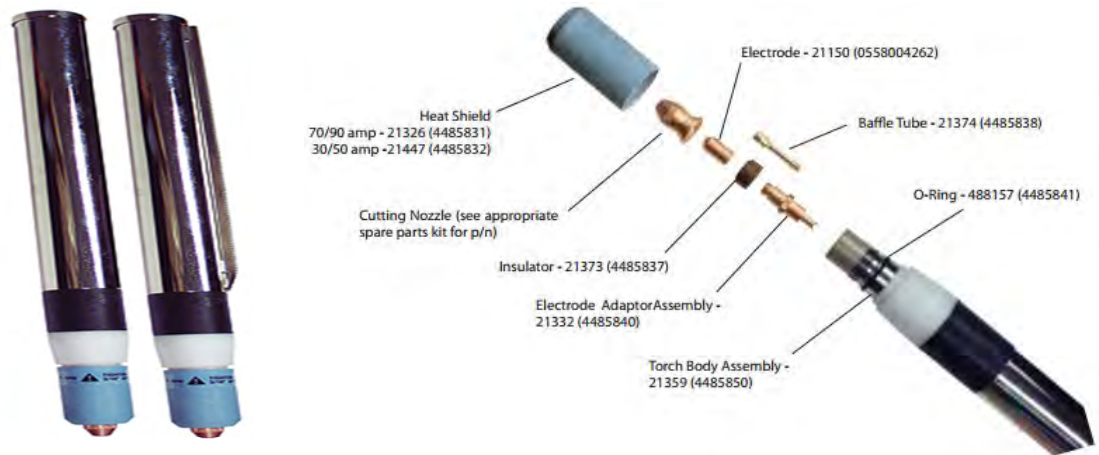
Figura 17. Equipo de corte por Plasma en la empresa.

Power Cut 1250	Características Técnicas
	Cuts 1-1/4 in. (32mm); severs 1-1/2 in. (38mm) 1 ph: Input. 208/230 vac, 1 ph, 50/60 Hz, 67/61 A 1 ph: Output.....70 amps @ 60% duty cycle 3 ph: Input.....208/230 vac, 3 ph, 50/60 Hz, 33/29 A230/460 vac, 3 ph, 50/60 Hz, 29/20 A400 vac, 3 ph, 50/60 Hz, 18 A575 vac, 3ph, 50/60 Hz, 15 A 3 ph. Output..... 70 amps @ 100% duty cycle Weight.....86 lbs. (39kg) Air Requirements: 350 cfh @ 80 psig (165 l/min @ 5.5 bars)

Fuente. Manual Técnico Power Cut 1250. [En línea] esabna [Consultada en Marzo de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.esabna.com>

Este equipo genera la energía necesaria para poder en compañía de un gas, generar la llama de calentamiento, que más tarde se ioniza. Básicamente este equipo consiste en un generador de alta frecuencia alimentado por energía eléctrica, un electrodo y portaelectrodo.

Figura 18. Antorcha PT-21AMX

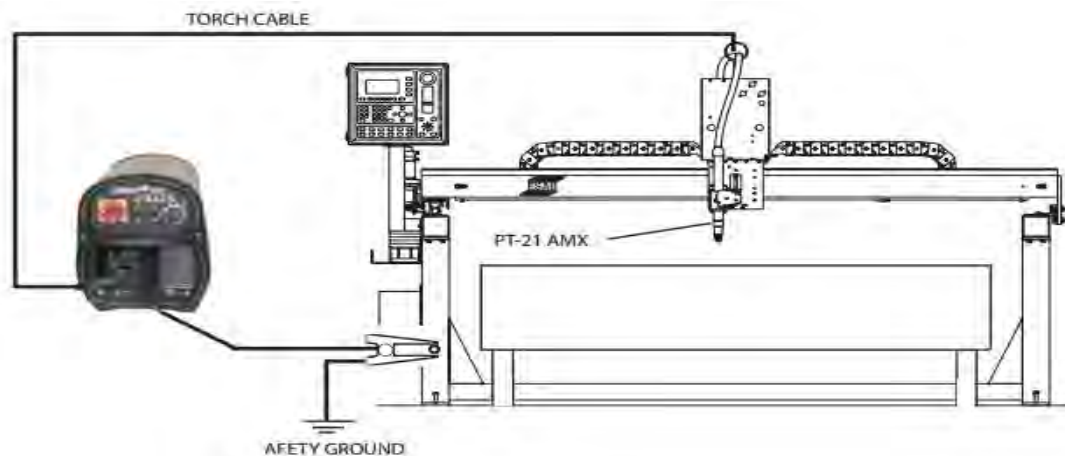


a) Antorcha para el equipo Plasma en la empresa.


b) Explosionado de la Antorcha PT-21AMX

Fuente. Manual Técnico Power Cut 1250. [En línea] edgwh.esabna [Consultada en Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://goo.gl/ZXOaDx>

Figura 19. Diagrama de conexión en Mesa de corte XY.



Fuente. Manual Técnico Power Cut 1250. [En línea] edgwh.esabna [Consultada en Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://goo.gl/ZXOaDx>

Figura 20. Compresor.	Placa Del Equipo
	15 CFM. Type:1. Class A. Style 2. MFR: Champion P. Neumatic. Model: OEG 458 ENG -1 Cont No. 88B – 48030 – 07 Date MFD: /62 Lenght: 66 Width: 23 Height:51 CAP OR PAY LOAD: 15 CFM G.V.B = 540 LB Ship wt: 605 Cube: 53.1 F1 ENG. MFR : Wisconsin Motor Corp Model: MAENLD

Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

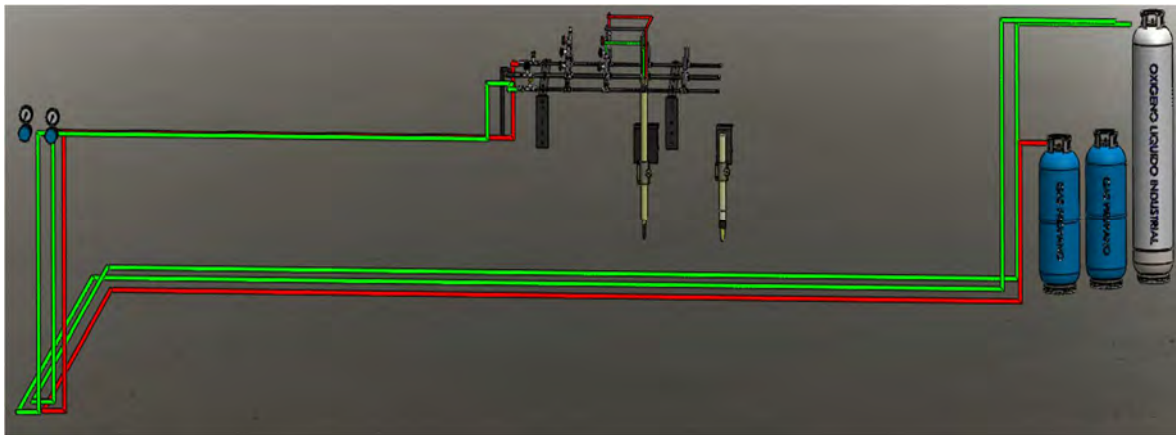
En el área se tiene un ventilador que se utiliza en el momento en que la maquina está cortando, con el objeto de retirar las partículas metálicas resultantes del proceso de corte. Su ubicación se puede observar en la figura 15.

2.2 SECTOR B: GASES COMBUSTIBLES.

Esta área suministra el combustible para el proceso de oxicorte. Los conductores de color Verde (mangueras de oxígeno), conducen Oxígeno líquido. Mientras que los conductores Rojos (mangueras de oxiacetileno) conducen Gas propano, encargado de ser el gas de calentamiento (Ver figura 21). Ambas pipas incluyen reguladores. Para el gas combustible llegar a la máquina, primero pasan por manómetros, luego éstas se conectan a la TUBERÍA de salida así:

- Manguera NEGRA conectada al tubo de oxígeno de corte (verde con válvula solenoide).
- Manguera VERDE se conecta al tubo de oxígeno de precalentamiento (verde con válvula rápida manual).
- Manguera ROJA se conecta al tubo de gas combustible (rojo con válvula rápida manual).

Figura 21. Pipas y disposición de las mangueras de oxiacetileno y plataforma de distribución



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

Entre las pipas y las mangueras de oxiacetileno, se encuentra un manómetro que en operación del pantógrafo regula la presión a 40 bar.

Figura 22. Mangueras de oxiacetileno

Mangueras Oxiacetileno	Estructura Internas
	

Fuente. Mangueras industriales [En línea] Kobaltec. [Consultada en Enero de 2015]. Disponible en internet: <http://kobaltec.com/products/industrial-hoses/page/4/?lang=es>

Figura 23. Pipa Oxigeno liquido (plateado) y Gas propano (Azul)



Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

La razón para utilizar oxigeno liquido vs oxigeno estándar, radica en que comercialmente el oxígeno líquido es más económico y la pipa tiene mucha más capacidad de almacenamiento.

2.2.1 Materiales de corte por plasma y/o oxicorte

Tabla 1. Materiales cortados por el equipo de Plasma Power Cut 1250

MATERIAL	CALIBRE
A36	Máxima : 3/8" Mínimo: 0.125 "
ACERO INOXIDABLE	
ALUMINIO	
HOT ROLLER	
ACERO AL CARBONO	

Tabla 2. Materiales cortados por Oxicorte

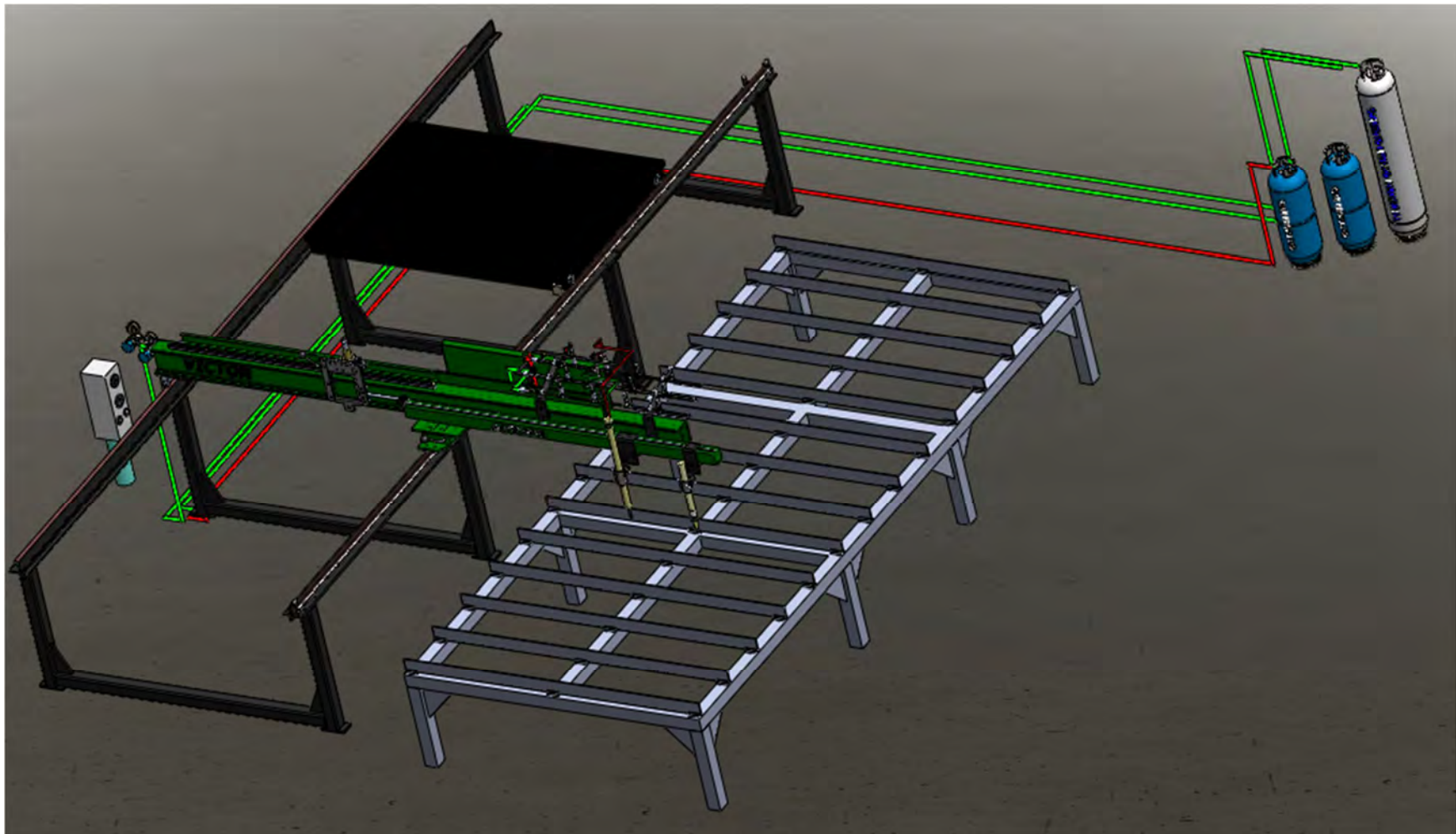
MATERIAL	CALIBRE
A36	Máxima : 4 " Mínimo: 1/8"
ACERO INOXIDABLE	
ALUMINIO	
HOT ROLLER	
ACERO AL CARBONO	

Se tiene la característica de que entre mayor es el calibre de la lámina se debe disminuir la velocidad de corte. También hay factores que influyen esto, por ejemplo, estado de las boquillas de los sopletes. En función del espesor y tipo de material se debe regular la velocidad de corte. El controlador HL - 90 permite configurar 2 zonas de velocidades lineales, la baja (LOW), que máximo se puede operar a 600 mm/min y la zona alta (HIGH), que máximo se puede operar hasta 3000mm/min. El ajuste de velocidad se hace actualmente a la experiencia del operario.

Una de las diferencias de trabajar con plasma y oxicorte, radica en la tolerancia que puede llegar a tener el producto final, para plasma ± 0.25 mm y oxicorte ± 1 mm, con los equipos actuales. También el acabado de la pieza, en el caso de oxicorte, la superficie queda fileteada, en comparación al acabado con el plasma, que resulta ser más fino. Sin embargo, en este caso la tolerancia mecánica de la máquina no permite llegar a estos valores debido a que está tiene una tolerancia de 2 a 3 mm.

2.3 SECTOR C: MAQUINA + SOPORTE SOPLETES + MESA DE CORTE

Figura 24. Pantógrafo Electrónico Auto 60S



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

Descripción Funcional en el área. El pantógrafo VICTOR AUTO 60S de la marca Thermadyne, es una máquina que tiene una estructura de apoyos (Ver figura 29), que garantiza cortes precisos de manera simple o compleja a través de los procesos oxicom bustibles o plasma. Sus movimientos se controlan por un sólido sistema de coordenadas que responde a señales direccionales emitidos por un sistema copiador de alta precisión. Los movimientos pueden controlarse individualmente para cortes rectos en los sentidos longitudinal (inferior), o transversal (superior).

El movimiento longitudinal de la máquina se logra a través del accionamiento del carro inferior por encima de los rieles que están soportados sobre caballetes. El movimiento lateral o transversal se produce a través del movimiento del carro superior sobre un riel soporte montado en el carro inferior. El movimiento del carro superior se realiza de manera perpendicular al del carro inferior.

Los movimientos circulares o diagonales se producen por la resultante vectorial de los comandos longitudinal y transversal. Los carros inferior y superior se accionan a través del piñón y de la cremallera independientemente.

El motor que acciona el carro inferior y sus accesorios se montan en la parte posterior del carro y una palanca engancha y desengancha al conjunto accionador de la cremallera.

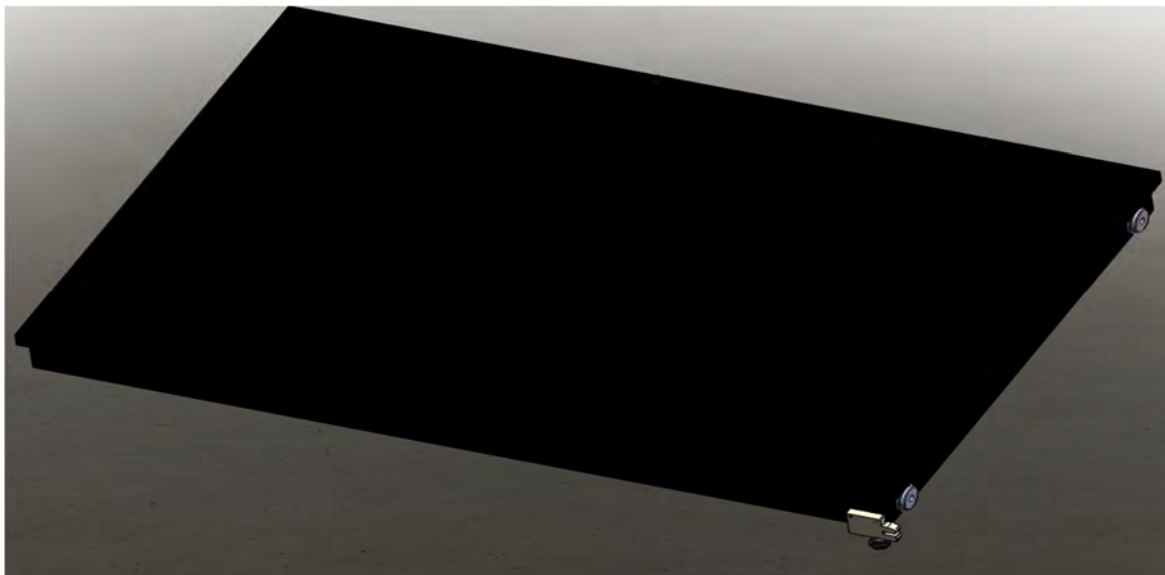
“Se monta el conjunto accionador del carro transversal en la parte trasera del carro, que posee también un sistema de enganche igual al del carro longitudinal. Un muelle mantiene este conjunto siempre presionado contiguo a la cremallera⁵”.

A continuación se describen las diferentes partes que componen la máquina.

2.3.1 Mesa de copia. Mesa de fondo Negro, donde se ubica la plantilla a copiar por el lector óptico. (ver Figura 25.a). Esta mesa está fabricada en aglomerado. La mesa tiene 4 ruedas que se apoyan sobre los soportes de los perfiles en L, que traen a un lado los 2 perfiles en T de la máquina. Dispone de un ajuste roscado que asegura la mesa a los perfiles cuando se está realizando la actividad de lectura por parte del lector óptico.

⁵ THERMADYNE Víctor. Manual Técnico Auto 60S (608.192.4). Brasil. Sección: Descripción de los Componentes. 1999.p5

Figura 25. Mesa de copia. **a)** Vista Trimétrica. **b)** Vista inferior



a)



b).

Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

2.3.2 Mesa Corte. La mesa de corte es la estructura que sostiene la placa de material en la que se van a cortar las piezas.

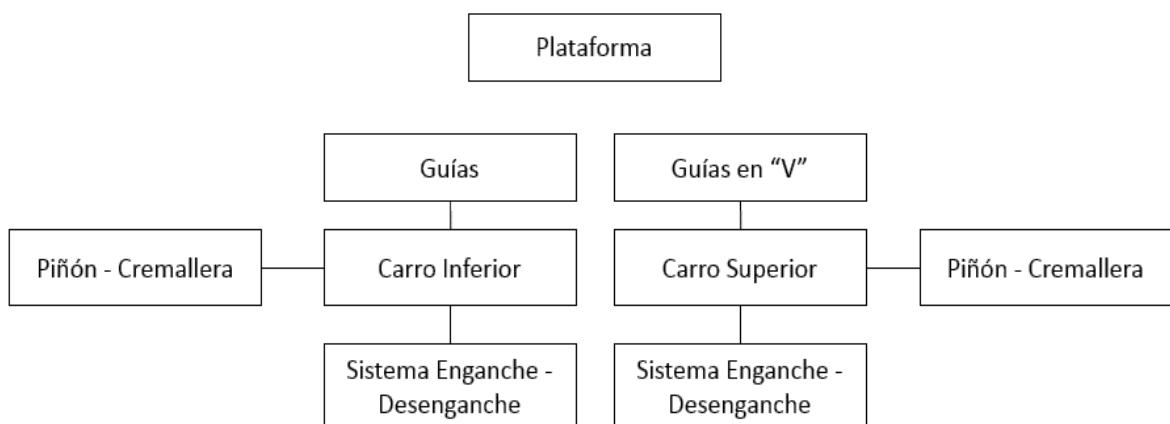
Figura 26. Mesa de corte. Vista trimétrica



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

2.3.3 Sistema Mecánico de la Maquina

Figura 27. Arquitectura del sistema Mecánico de la Maquina.



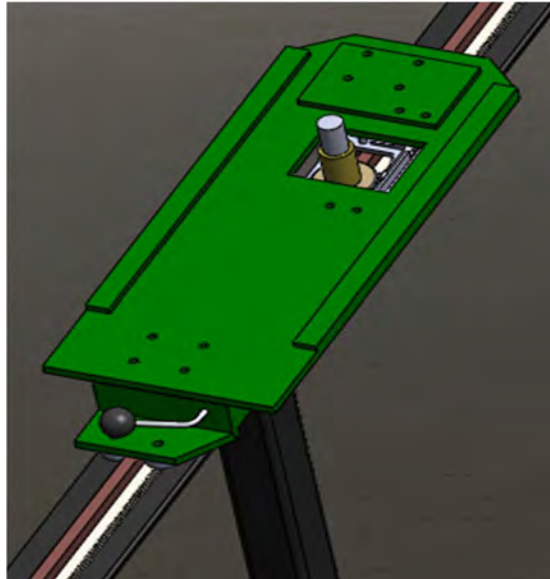
Esta máquina básicamente tiene la estructura de una mesa XY, un carro longitudinal y transversal que realizan movimiento en el eje X y Y, respectivamente, al realizar movimientos simultáneos se pueden obtener contornos definidos. Hace uso de sistema de enganche y desenganche por medio de muelles para el libre movimiento de los carros independientemente. Su esencia es un sistema cremallera-piñón, el cual por medio de un actuador electrónico y una caja reductora, transforman el movimiento rotacional en lineal.

2.3.3.1 Apoyos y Carro Longitudinal (Inferior)

Figura 28. Perfiles en T	Características Técnicas
	<p>En este perfil se apoya el carro inferior. Fabricada en Hierro (Negro) y Fabricado en Aluminio (zona en café). Guía para el carro inferior. Largo: 5000 mm</p>

Figura 29. Soportes	Características Técnicas
	<p>Fabricada en Hierro (Negro) Estos son los soportes de la máquina.</p>

Figura 30. Carro Longitudinal



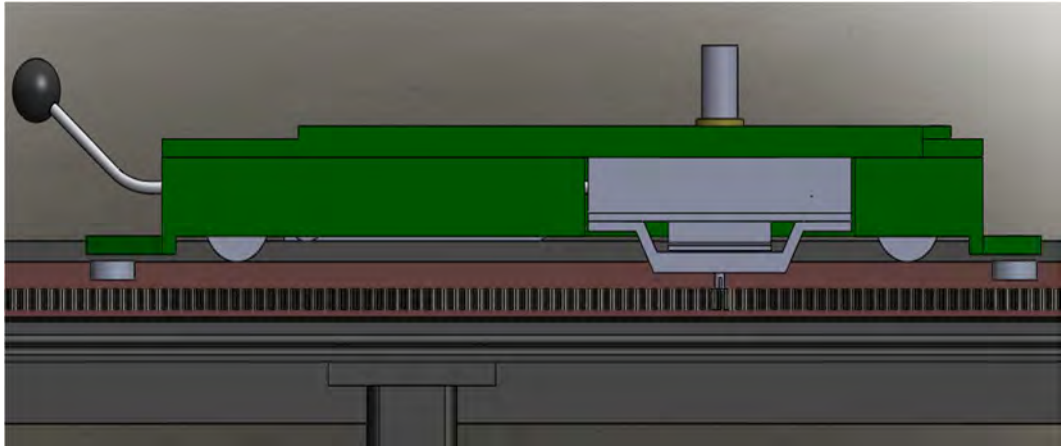
Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

Construido sobre rígida estructura de aluminio, el carro longitudinal garantiza la estabilidad de la máquina, soportando de manera estable el carro transversal (superior) y los demás periféricos de la máquina. Dos rodamientos de esfera se mueven por la superficie del riel guía (Ver figuras 31-33), mientras los otros dos pares de rodamientos laterales mantienen el carro paralelo a este mismo riel (ver Figuras 31-33). Del lado opuesto (riel de apoyo), dos pares de rodamientos con fijación excéntrica se mueven arriba y abajo de un riel de sección cuadrada, montado del otro lado de los caballetes.

“El movimiento longitudinal se realiza en operaciones de corte por cremallera y piñón presionados por muelles. Un sistema de desengranaje permite que la máquina sea desarticulada manualmente. Un sistema de raspadura mantiene el riel exento de partículas o adherencia que puedan perjudicar el desplazamiento”⁶.

⁶ THERMADYNE Víctor. Manual Técnico Auto 60S (608.192.4). Brasil.. Sección: Descripción de los Componentes. 1999.p5

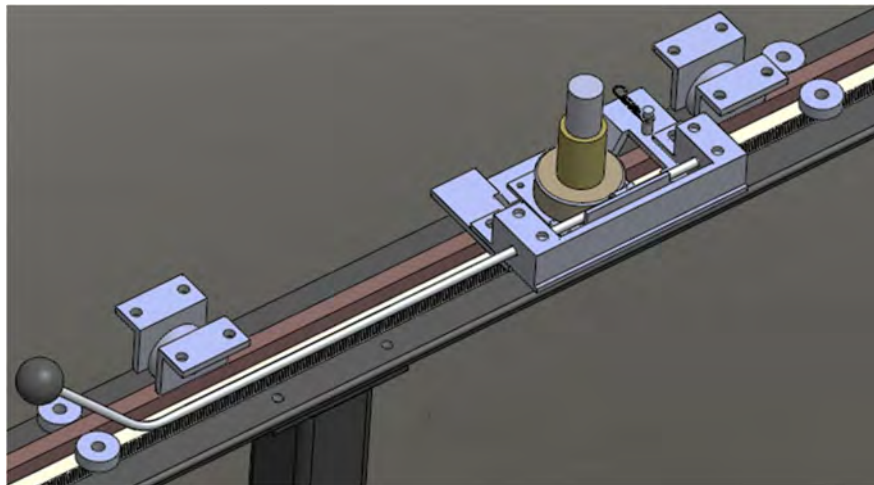
Figura 31. Vista lateral del carro longitudinal



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

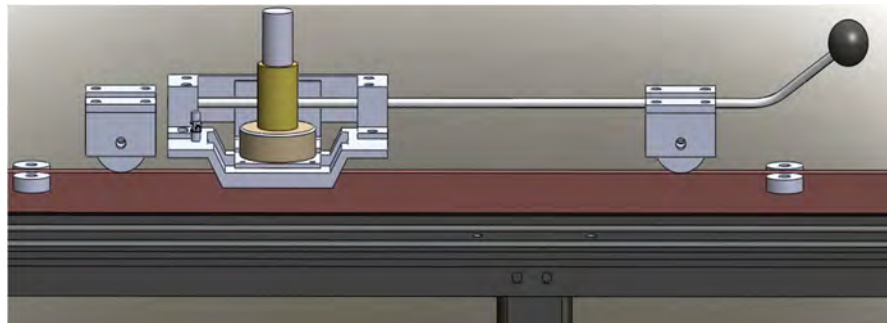
A continuación se presentan las vistas del Carro inferior acompañado del sistema cremallera – piñón y el actuador, al igual que se muestra el sistema de enganche y desenganche por medio de un muelle.

Figura 32. Vistas Trimétrica del carro longitudinal

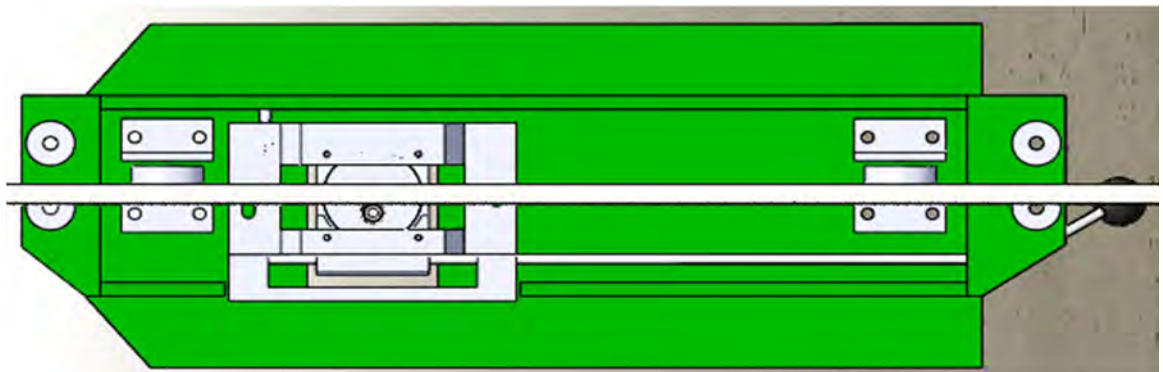


Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

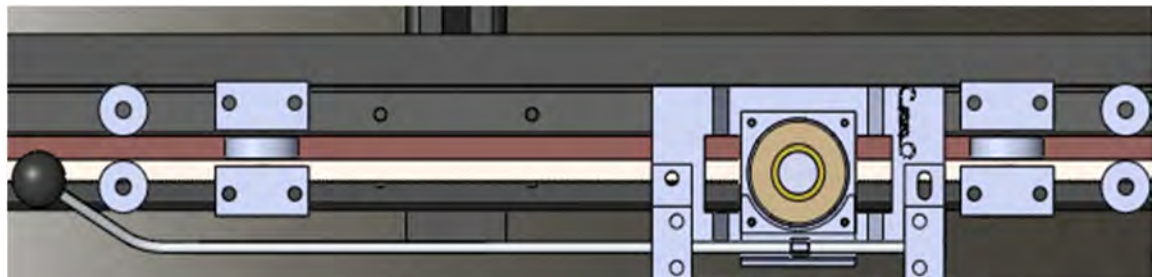
Figura 33. Diferentes vistas del carro longitudinal. **A)** Vista Lateral. **B)** Vista inferior. **C)** Vista Superior



a)



b)

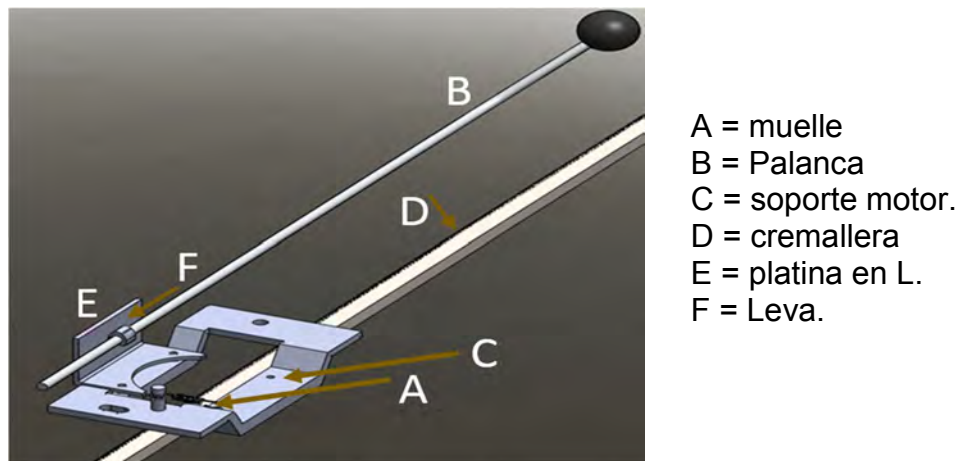


c)

Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

2.3.3.2 Sistema enganche – desenganche en el Carro longitudinal: Una relación de leva entre la leva y la platina en L, hace que al girar hacia un lado la palanca, la leva proceda a sacar la placa que está sujeta al soporte del motor, así estira el muelle hasta que la leva regrese a su posición de reposo, así el muelle se contrae, para retornar a su posición original reteniendo de nuevo el piñón contra la cremallera

Figura 34. Sistema Enganche – Desenganche en el Carro Longitudinal



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

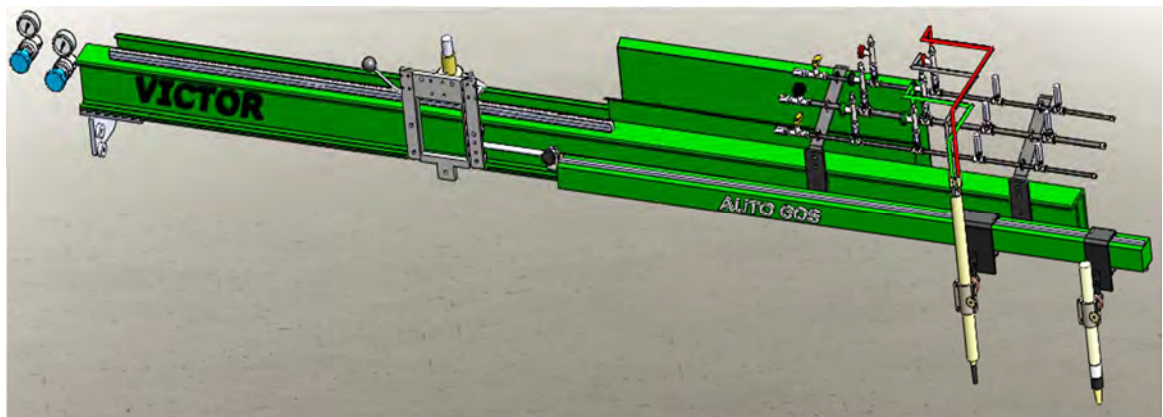
2.3.3.3 Carro Transversal: El carro superior permite el movimiento transversal para los sopletes y la cabeza copiadora, desplazándose sobre guías cilíndricas fijadas en el carro transversal. Se garantiza la precisión del desplazamiento a través de los rodillos de guía en "V" ajustables, montados en las placas soporte de la cabeza copiadora y de la barra de los sopletes.

“Se realiza el movimiento transversal durante operaciones de corte por cremallera y piñón presionados por muelle. Un sistema de desengranaje permite el desplazamiento manual del carro. Un dispositivo especial permite el desplazamiento lateral de los sopletes sin alterar la posición de la cabeza copiadora” ⁷.

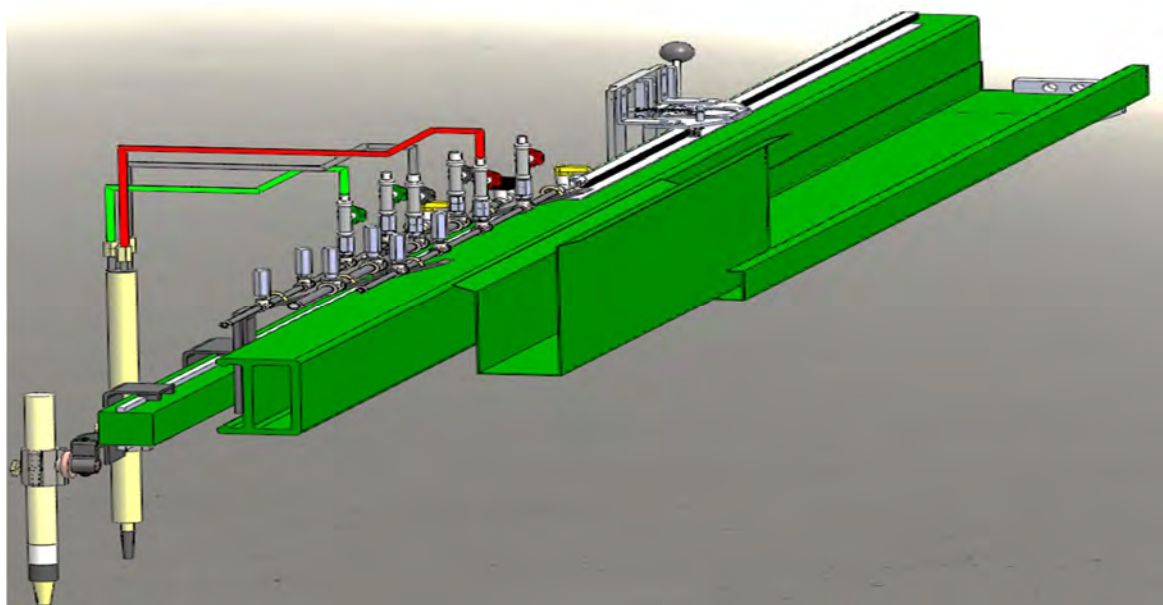
⁷ Thermadyne Víctor. Manual Técnico Auto 60S (608.192.4). Brasil. Enero/99. Sección: Descripción de los Componentes. p. 5

En el carro transversal se identifican 2 perfiles, el primero incluye la palabra “Victor”; este es un perfil que esta fijo y solo se mueve en un eje cuando el carro longitudinal (carro inferior) se mueve. El segundo perfil incluye la palabra “Auto 60S”; este brazo es extensible a un máximo de 68 cm, aquí se montan un soporte, donde se encuentran diferentes válvulas de paso y una válvula solenoide.

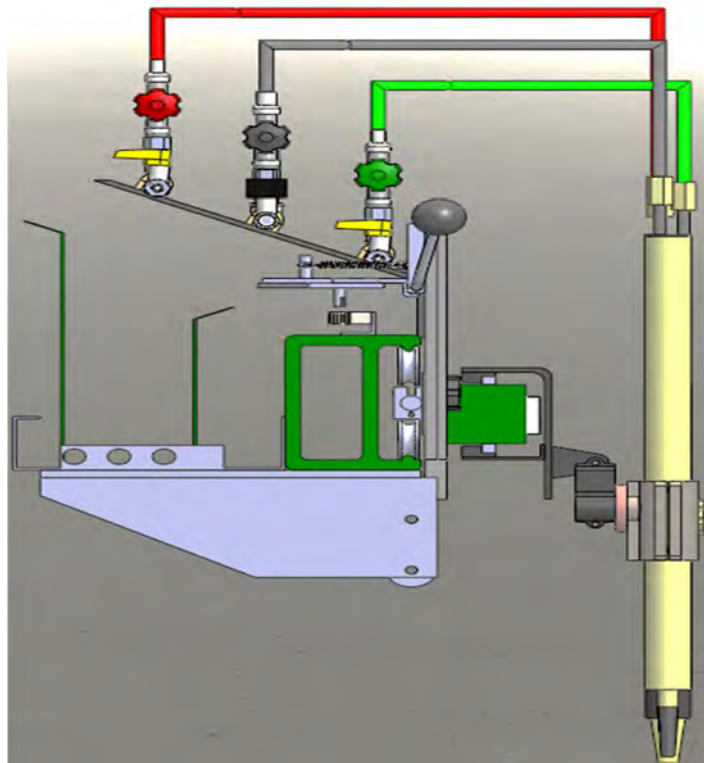
Figura 35. Vistas del Carro Transversal. A) Frontal. B) Trasera. C) Lateral. D) Inferior



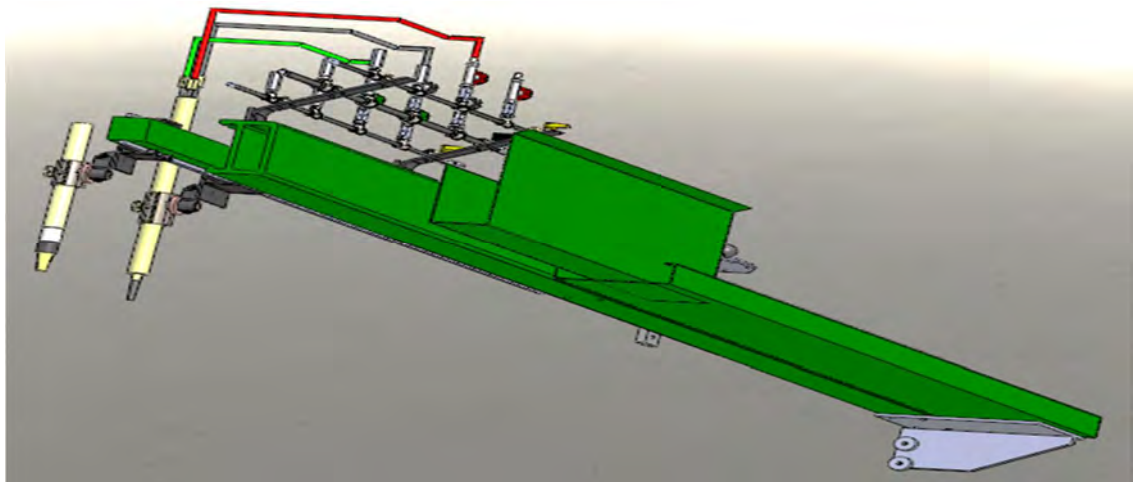
a)



b)



c)

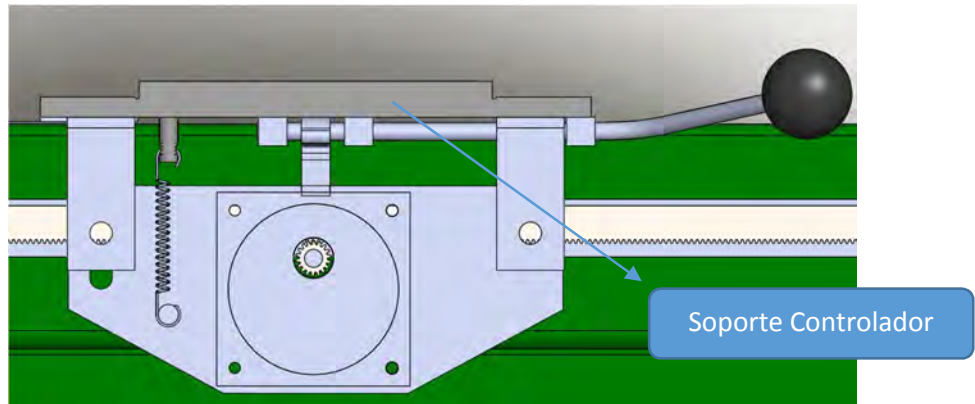


d)

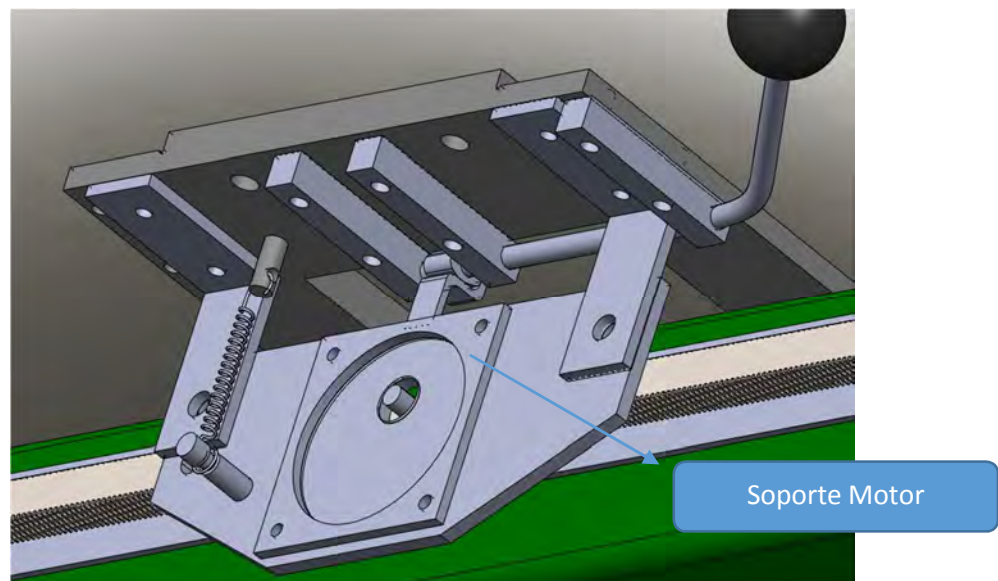
Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

2.3.3.4 Soporte del controlador y Sistema de Enganche – Desenganche:
Sobre el carro transversal se monta el soporte del controlador y un segundo actuador electrónico. En la siguiente imagen se puede evidenciar los subsistemas de enganche y desenganche, además del sistema cremallera piñón correspondiente a este eje.

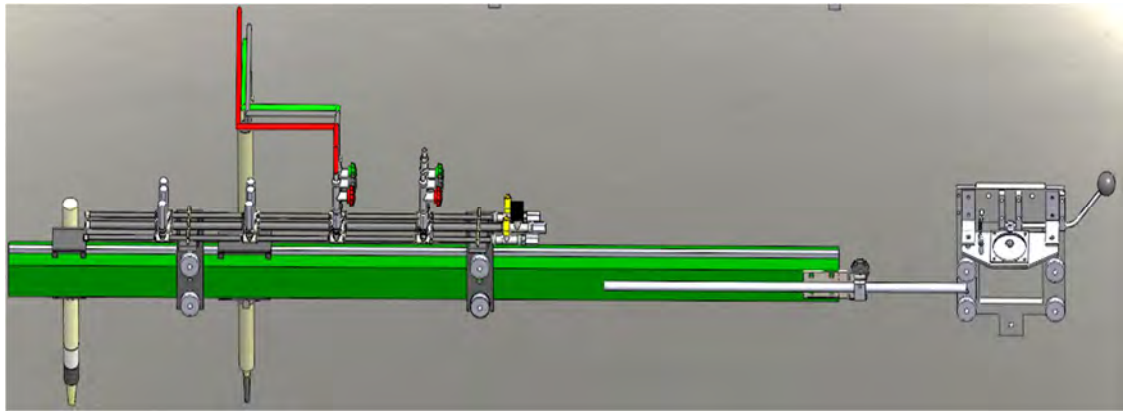
Figura 36. Soporte del controlador. a) Vista superior. b) trimétrico. c) Trasera



a)



b)

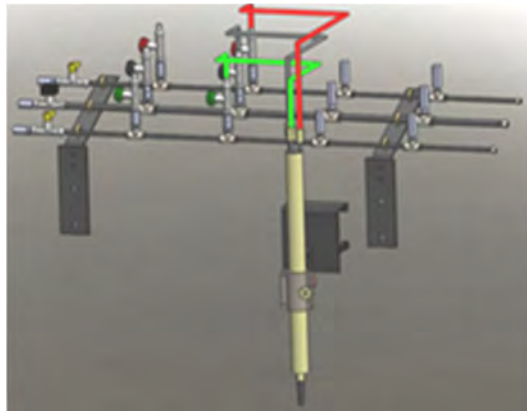


c)

Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

2.3.3.5 Soplete de oxicorte. El soplete de oxicorte cuenta con válvulas antiretorno. A este llegan las líneas de gas combustible provenientes de las válvulas de paso, aquí es donde se hace la mezcla adecuada de los gases para el corte. Es importante resaltar que es mayor la cantidad de oxígeno que la de gas propano, pero la proporción se la da a la experiencia del operario.

Figura 37. Soplete para oxicorte



Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5 (izq). Y Empresa CORTEMETAL SAS. (Der)

3. SISTEMAS DEL PANTÓGRAFO ELECTRÓNICO VICTOR AUTO 60S

3.1 COPIADOR ELECTRÓNICO HL-90

El lector óptico tipo HL-90, es un control dedicado para las máquinas que utilizan oxicorte y plasma, su función es permitir copiar un plano dibujado en papel en escala 1 a 1. Los movimientos del corte se controlan por un sistema que responde a señales direccionales emitidas por el copiadorel de alta precisión.

La exactitud del seguimiento del Trazador es ± 0.25 mm de desviación respecto a un patrón de borde recto. La velocidad de corte se ajusta en una zona que oscila de 600 mm/min (24ipm) a 3000 mm/min (118ipm). Una vez ajustado, el sistema direccionador de coordenadas sigue un modelo o se mueve en línea recta, manteniendo una velocidad de corte constante, independiente de la dirección de la trayectoria.

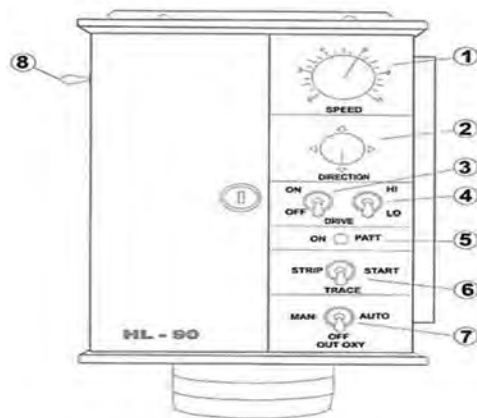
Con respecto a especificaciones técnicas, el copiadorel electrónico HL-90 está equipado con un conector de alimentación de tres terminales polarizados, propio para utilización en red aterrizada, cuya resistencia de aterramiento no sea mayor a 1 ohm (solamente para oxicomcombustibles) o 0,75 ohms. (Para equipamiento con plasma). Las especificaciones técnicas del equipo se encuentran en la figura 39.

Figura 38. Copiadorel electrónico HL-90. a) Consola de mando del controlador HL-90. b) Lector óptico y Actuadores.



Fuente. Optical Tracing System. HL -90. [En línea] wescanltd [Consultada en Octubre de 2014]. Disponible en internet: http://www.wescanltd.com/products_optical_hl90.asp

Figura 39. Consola de Mando



Coordinate Drive Tracing System

Type: HL – 90.

System: 332A211601

Control/Amplifier:332A656G0

Serial: N00678707

Voltage: 115 Vac

Frequency: 50 / 60 Hz

Current: 2 A

Wescan System Limited

Fuente. Manual Técnico del Pantógrafo Electrónica Auto 60S de Thermadyne. P. 23.

*Nota: Referenciarse con los números en el ítem 3.1.2.

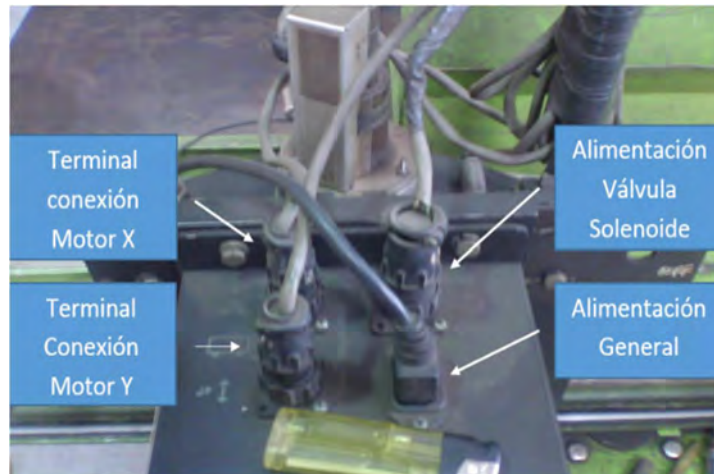
3.1.1 Funcionamiento. Cuando se utiliza un sistema de control basado en un lector óptico, el movimiento de los sopletes corresponde directamente a los cambios de posición del copiador sobre la plantilla en la mesa copiadora. En este caso, las bombillas alrededor del lente emiten una gran cantidad de energía infrarroja, teniendo en cuenta que el color negro absorbe la luz mientras que el blanco refleja la luz. La reflexión de la luz, a través los lentes, la hace incidir en el sensor opto-eléctrico (Fototransistor). La señal eléctrica del sensor es procesada por un microcontrolador y corrige el movimiento del pantógrafo haciendo uso de un servo-motor que obliga a seguir la línea del contorno. Esta misma señal se procesa para transmitir a los dos motores que mueven el carro inferior y el carro superior.

3.1.2 Consola de Mando. Todas las funciones de operación necesarias para el corte se centralizan en una consola de mando (ver figura 38.a), en la cual se puede realizar las siguientes funciones:

- Velocidad de la máquina (SPEED). (1)
- Dirección de la máquina (DIRECTION – 4 Direcciones). (2)
- Movimiento (DRIVE – ON/OFF). (3)
- Zona de velocidad de movimiento (DRIVE – HI/LO). (4)
- Indicador detección de plantilla (5)
- Oxígeno de corte (CUT OXY – MAN/OFF/AUTO). (6)
- Alimentación del sistema (ON/OFF) (7)

En la parte superior se ubican los cables conectores de alimentación, manejo de motor X y Y, y activación de la válvula solenoide. (Ver Figura 40)

Figura 40. Conexiones externas del controlador.

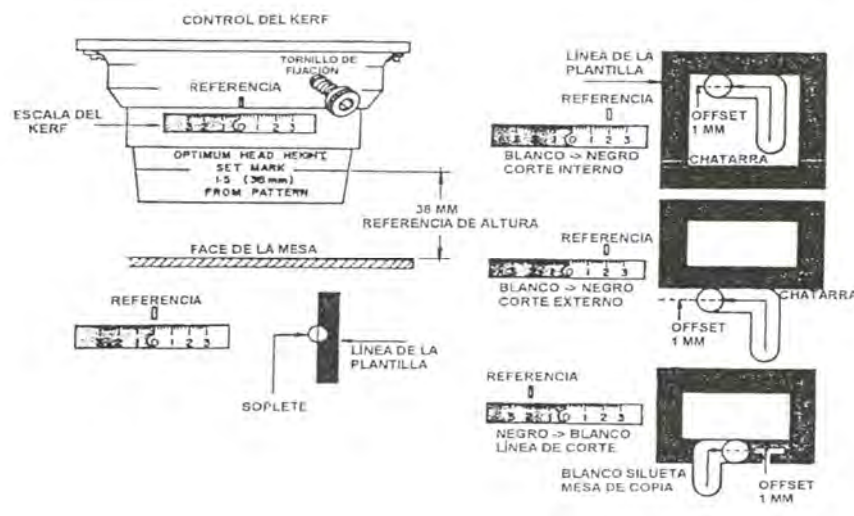


Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

3.1.3 Compensación de Kerf. Al cortar una pieza es necesario conocer la ranura que el soplete provoca en el material al cortarlo, con el objetivo de que las dimensiones de la pieza sean las deseadas, esto es la compensación de kerf.

En la placa del circuito electrónico del controlador HL-90, se puede ubicar un jumper, que tiene la función de activar la función de la compensación de Kerf (sangría), activada esta función, se pasa a configurar de modo manual, el control del Kerf (ver Figura 41) y realizar una compensación que va de 0 hasta 3 mm.

Figura 41. Modulo del control del kerf en la cabeza del lector óptico.



Fuente. THERMADYNE Víctor. Manual Técnico Auto 60S (608.192.4). Brasil. 1999. Sección: Preparación de la plantilla. p. 1.

3.2 ACTUADORES ELECTRÓNICOS

La placa de los motores que tiene la máquina para accionar los diferentes sistemas de desplazamiento tanto en el eje X como el eje Y tiene la siguiente información:

Marca: Pitmman

Referencia: MT9414C934 - 3501D74H01

Voltaje: 19.1 VDC

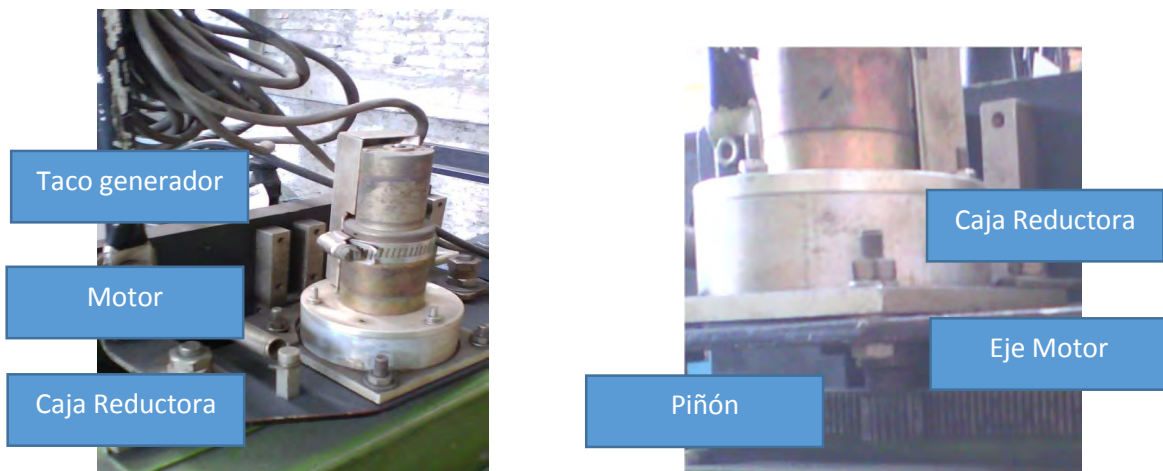
Esta referencia corresponde a un DC Servomotor con tacogenerador. La salida de tensión es en función de la velocidad del motor. La señal del tacogenerador se utiliza en el sistema de control para estabilizar el bucle de velocidad del copiador. Hay dos motores en la máquina, cada uno ubicado en los carriles superior e inferior respectivamente. Ambos reciben las señales de mando desde el drive del copiador.

El motor trae acoplado un reductor. Esto asegura que el eje de salida trabaje a una velocidad más lenta y reduce la inercia aparente de la carga referida al eje del motor. Para una operación con velocidad máxima, la rotación del motor deberá ser

la de 2.050 a 3000 rpm y dependerá de la relación de la caja de reducción y del tamaño del piñón. El piñón está unido al eje del motor y unido por medio del sistema de enganche descrito en apartados anteriores a la cremallera; de este conjunto salen 4 cables: 2 cables del tacogenerador (Verde y Blanco) y 2 Cables del motor (Rojo y Negro). Los hilos del motor (rojo y negro) se conectan, uno al terminal GND de la placa del circuito y el rojo a una salida de la placa del controlador. Los hilos del taco generador (verde y blanco) se conectan de modo similar a los del motor, Blanco a GND y verde al controlador.

Los drives de los actuadores corresponde a la referencia ASSY 3504D26G7, aún no se ha encontrado información referenciada a ese modelo. Para obtener mayor información de los motores, se procedió a buscar en el manual técnico tanto de la maquina como del controlador y allí se encontró la información de las dimensiones del motor, por este motivo y en pro de obtener información adicional como las características técnicas, se contactó a la compañía que fabricaba estos motores, el nombre de esta compañía es Ametek. La respuesta consistió en informar que ese motor era fabricación exclusiva para su cliente Linatrol Company, fabricante del controlador HL-90 y por tal motivo no se podría suministrar información alguna.

Figura 42. Motor

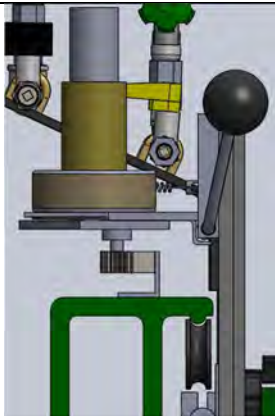
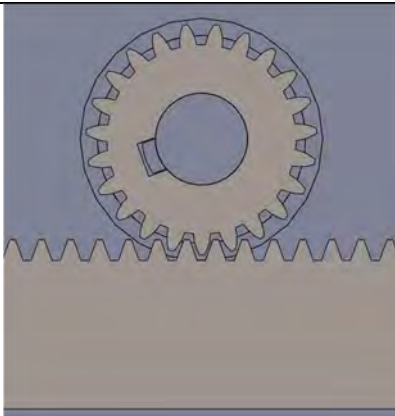


Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

3.3 ACTUADORES MECÁNICOS

Sistema Cremallera – piñón: Se encarga de convertir el movimiento rotacional del eje del motor a movimiento lineal.

Figura 43. Sistema – Cremallera piñón

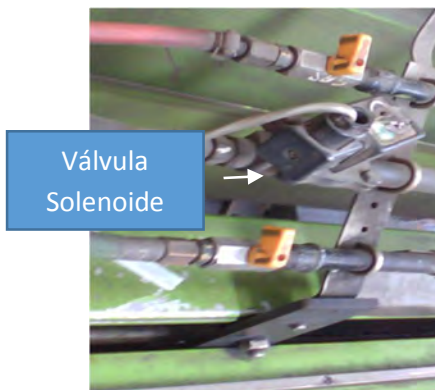
		
Carro Superior		
Características Técnicas		
<p>Piñón</p> <p>Modulo = 0.8</p> <p>Numero de dientes del piñón: 23</p> <p>Angulo de presión: 20</p> <p>Anchura de cara:13</p> <p>Diámetro Eje nominal:8</p> <p>Ranura en chaveta: cuadrada</p> <p>Piñon 0.8M 23T 20PA 13FW</p>	<p><u>Cremallera Superior</u></p> <p>Modulo = 0.8</p> <p>Angulo de presión = 20</p> <p>Anchura de cara = 13</p> <p>Altura de paso = 13,9</p> <p>Longitud = 1623</p> <p>Dientes x cm = 4</p> <p>Cremallera rectangular 0.8M 20PA 13FW 13,9PH 1623L</p>	<p><u>Cremallera Inferior</u></p> <p>Modulo = 0.8</p> <p>Angulo de presión = 20</p> <p>Anchura de cara = 13</p> <p>Altura de paso = 13,9</p> <p>Longitud Cremallera carro Superior: 2490 mm</p> <p>Cantidad = 2</p> <p>Dientes x cm = 4</p> <p>Cremallera rectangular 0.8M 20PA 13FW 13,9PH 2490L</p>

Fuente. Elaboración a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5

3.4 OTROS ELEMENTOS

3.4.1 On/Off para el paso de gas combustible al soplete de oxicorte: La Válvula Solenoide de oxicorte es activada desde la consola de mando del HL-90, con el objeto de habilitar el paso oxígeno hasta la entrada de la válvula antirretorno que tiene el soplete de oxicorte.

Figura 44. Válvula Solenoide



Características Técnicas

La energización de un relé de estado sólido dentro de la placa del circuito de la consola de mando activa la válvula solenoide a 110 Vac.

Fuente. Elaborado a partir de material disponible en la Empresa CORTEMETAL SAS. Santiago de Cali.

3.4.2 Regulador de Voltaje

Este se utiliza entre la red eléctrica y el HL – 90, con el objeto de filtrar la onda que le llega al contralor.

Figura 45. Regulador de Voltaje



Características Técnicas

Voltaje de entrada : 75 – 145 V AC
Voltaje de salida : 115 V AC +/- 6 % (108 – 122)
Potencia : 1000 W
Corriente máxima : 25 A
Protección de sobrecarga : fusible
Tipo de salidas : 4 tomas regulados con polo a tierra

4. JUSTIFICACIÓN

La problemática descrita en el punto 1, presenta una situación que ha dado paso para que la empresa restrinja la realización de gran cantidad de proyectos, esto significa en comparación a sus inicios, cuando el servicio estaba en auge, a la reducción del 70% de los clientes en el momento actual. Para la empresa, actualmente el servicio de corte de lámina utilizando el pantógrafo representa el 20% de sus ventas. Las devoluciones no se dan frecuentemente, debido a que los clientes conocen las restricciones de la tolerancia mínima que se puede asegurar, esta es de 2 mm en el mejor de los casos, así que se omiten trabajos en los que se requieran de tolerancias inferiores. Para el mantenimiento de la maquina se contrata un servicio especializado externo, mensualmente por valor de 100.000 pesos colombianos. Adicionalmente para las cotizaciones, han optado por dos fórmulas estándar en el mercado; la primera de ellas se basa en el peso de la lámina cortada, esto es 1500 por cada Kg, dividido el valor del costo de la lámina. La segunda consiste en el factor de la complejidad del diseño, esto relaciona directamente el tiempo que trabaja el operario en la creación de la plantilla y la obtención de ésta, para esto tienen un estimado, basados en la experiencia de trabajo en otras máquinas, de hora-hombre-máquina entre 40.000 y 50.000 pesos colombianos.

Sin embargo, aún no se ha cuantificado el valor del KWH de la máquina, ni el costo de la Hora-Hombre, ni el costo de la papelería, tinta, transporte, combustible, mensajero y otros aspectos, directa e indirectamente, relacionados con la obtención del producto final haciendo uso del pantógrafo VICTOR AUTO 60S. Con respecto al desperdicio de material, se estima que un 10% de material se pierde en cada corte. Estos factores han desembocado en que sus cotizaciones ascienden a un valor superior, en comparación al de la competencia, que hacen uso de máquinas automatizadas.

Como se puede apreciar, adicionalmente, las funciones del operario ya se han extrapolado a un plano en el que también, además de sus funciones como operar la máquina, tiene que hacer la tarea de dibujante técnico, esto en un diseño sencillo puede traducirse en 20 minutos mientras que en un diseño complejo puede darse más de 1 hora, en solo un dibujo. En otros casos, donde el dibujo es de grandes dimensiones, se envía a un servicio de impresión especializado, el cual tiene listo la figura impresa un día después. Estos factores económicos extras, se suman a los descritos en los párrafos anteriores, para que la productividad y rentabilidad no sean de la mayor satisfacción posible.

La empresa estima que con el desarrollo del proyecto, se puede lograr un aumento del 50% en la eficiencia de la máquina y un significativo ahorro de dinero, aun no calculado, al suprimir actividades indirectas relacionadas con el producto final.

Debido a las situaciones descritas, el servicio no se encuentra acorde a la evolución de las diferentes necesidades de sus clientes. Esto ha hecho que la empresa pierda competitividad en esta línea de servicio metalmecánico.

La empresa ha explorado soluciones cotizando la adquisición de tecnología para modernizar la máquina, sin embargo, el alto costo de los equipos hace inviable su adquisición económicamente para la empresa. A nivel nacional, en Bogotá D.C se han cotizado maquinas nuevas por valores que ascienden los 120 millones de pesos colombianos. El alto costo de los equipos no ha permitido a la empresa acometer este proyecto de modernización.

Así, la realización del diseño de la modernización de la máquina, se traduce en un paso muy importante para la empresa, esto es acercarse a una solución que permita repotenciar la máquina, para brindar mayores prestaciones, con el objeto de recuperar el segmento de mercado perdido en esta línea de servicio metalmecánico.

5. ANTECEDENTES

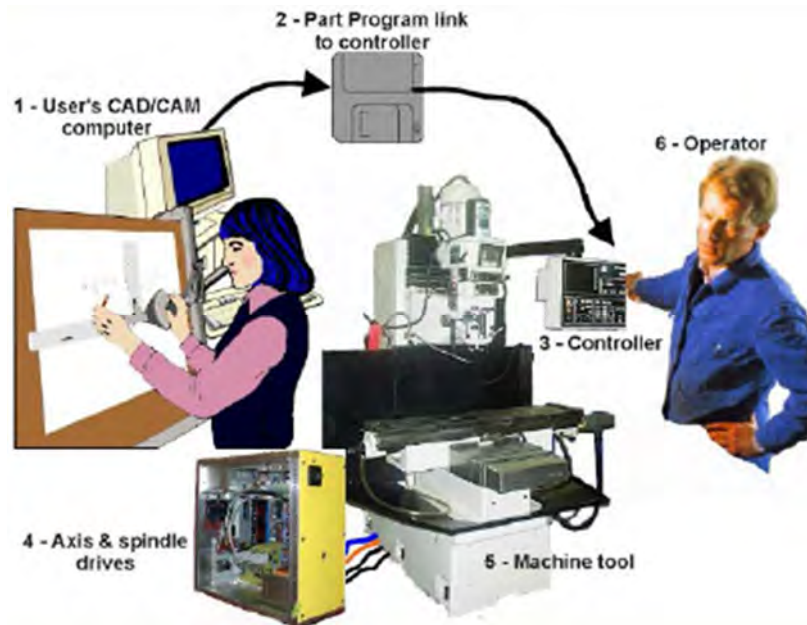
El inicio de este tipo de proyectos se da cuando el personal se encuentra con el dilema de qué hacer con un equipo que está llegando al fin de su vida útil; ya no se tiene la disponibilidad de los repuestos, el equipo no tiene las prestaciones para responder con las demandas actuales de los clientes, así para la modernización del pantógrafo electrónico VICTOR AUTO 60S, se ha optado por las siguientes opciones:

- La primera consiste en asumir los costos de un equipo nuevo, en el caso que técnicamente la modernización no es recomendable, debido a factores relacionados con un sistema mecánico defectuoso. Esto acarreo el coste económico de una nueva mesa de corte.
- La segunda opción consiste en hacer uso de la técnica denominada Retrofit, la cual ante la condición de estar el sistema mecánico en óptimas condiciones se procede a integrar y dotar a la máquina de mejores prestaciones, es decir, repotencializarla, reemplazando el controlador obsoleto (HL-90) y adicionando elementos que permiten en este proyecto específico, la integración de un Control numérico computarizado (CNC) al equipo. Esta opción se amplía en el numeral 5.2.
- Aplicar el Retrofit utilizando un kit de elementos que tiene como eje central un software CNC a base de PC. Esta opción se amplía en el numeral 5.2.1.
- Otra opción consiste en integrar un CNC junto a elementos extras (ver tabla 3) al controlador HL-90, el sistema de control actual del pantógrafo electrónico.

A continuación se hace ampliación de la información correspondiente a las opciones presentadas.

5.1 SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CONVENCIONAL

Figura 46. Proceso Típico involucrado en el corte en una Máquina – Herramientas



Fuente: Manual Mach3. [En línea] tallerdedalo [Consultada en Marzo de 2015].
Disponible en Internet:
<http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3castellano.pdf>

El diseñador de una pieza, generalmente usa un programa o programas de diseño asistido por computadora (CAD / CAM) (1). Con este diseño se produce un código de salida único para este diseño, usualmente es "código G" y es transferido (a través de una red de comunicación o tal vez por un medio de almacenamiento de datos) (2) a la máquina controladora (3). La máquina controladora es responsable de interpretar este código para controlar la herramienta que cortará la pieza a trabajar.

Los ejes de la máquina (5) son movidos por tornillos, cremalleras o correa que son impulsados por los motores servo o motores paso a paso. Las señales de la máquina controladora son amplificadas por los Drives (4), así su selección se da con el objeto de hacer funcionar los motores con los requerimientos de potencia que necesitan.⁸ Esta configuración es aplicable a un sinfín de MH, entre las que se

incluye las de corte por plasma y laser. Esta es la opción de considerar la compra de una nueva máquina.

5.2 RETROFIT.

La técnica del retrofit comparte tanto la segunda como la tercera opción. Consiste en la repotenciación de la maquina haciendo uso de conjuntos de elementos y componentes, como sistemas eléctricos, componentes electrónicos, software, etc. previa aceptación de criterios técnicos que se ampliaran en el ítem 6.6.

El proceso debe involucrar desde la selección, instalación, programación y futura puesta en marcha del nuevo sistema de control, esto tiene sus bases en una evaluación completa tanto de los funcionamiento de la maquina como los sistemas que lo involucran en el momento actual.

Finalmente en función de los requerimientos técnicos para el funcionamiento de la máquina, se pueden tener diferentes configuraciones de elementos como los que se muestra en la figura 47 y 48.

Figura 47. Solución Retrofit CNC.



Fuente. Soluciones Retrofit CNC. [En línea] AjaxCNC. [Consultada en Enero de 2015] Disponible en Internet: <http://www.ajaxcnc.com/>.

La figura 48, de izquierda a derecha muestra una típica consola de mando para el CNC (Sinumerik), luego el drive del actuador (Sinamic), y finalmente el actuador.

Figura 48. Solución Retrofit haciendo uso Sinumerik 840D SL de la empresa Siemens.

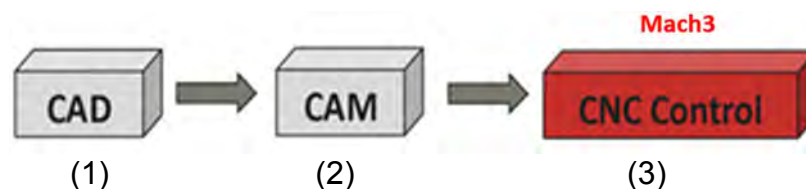


Fuente: Equipos Siemens para retrofit. [En línea] deao-electric [Consultada en abril de 2015]. Disponible en internet: www.deao-electric.com

5.2.1 Retrofit a través de controles a base de pc. Son sistemas que permiten la comunicación con los servo-motores o los motores paso a paso (PAP), para controlar el movimiento de estos, mediante el procesamiento de código G y algoritmos de control mediante el uso de una computadora. Esto permite automatizar maquinas convencionales a CNC, o crear máquinas de control numérico a un bajo costo. Existe un software muy popular para esto, utilizado en la industria denominada Mach 3⁹ CNC software, el cual ha tenido éxito en la aplicación de sistema de control numérico en mesas de corte por plasma y oxicorte. La ventaja de utilizar Mach 3 es que se reemplaza el controlador descrito en el numeral 3 en la figura 46 por software.

5.2.1.1 Mach 3.

Diagrama de Flujo del proceso tradicional de diseño y manufactura de una pieza.



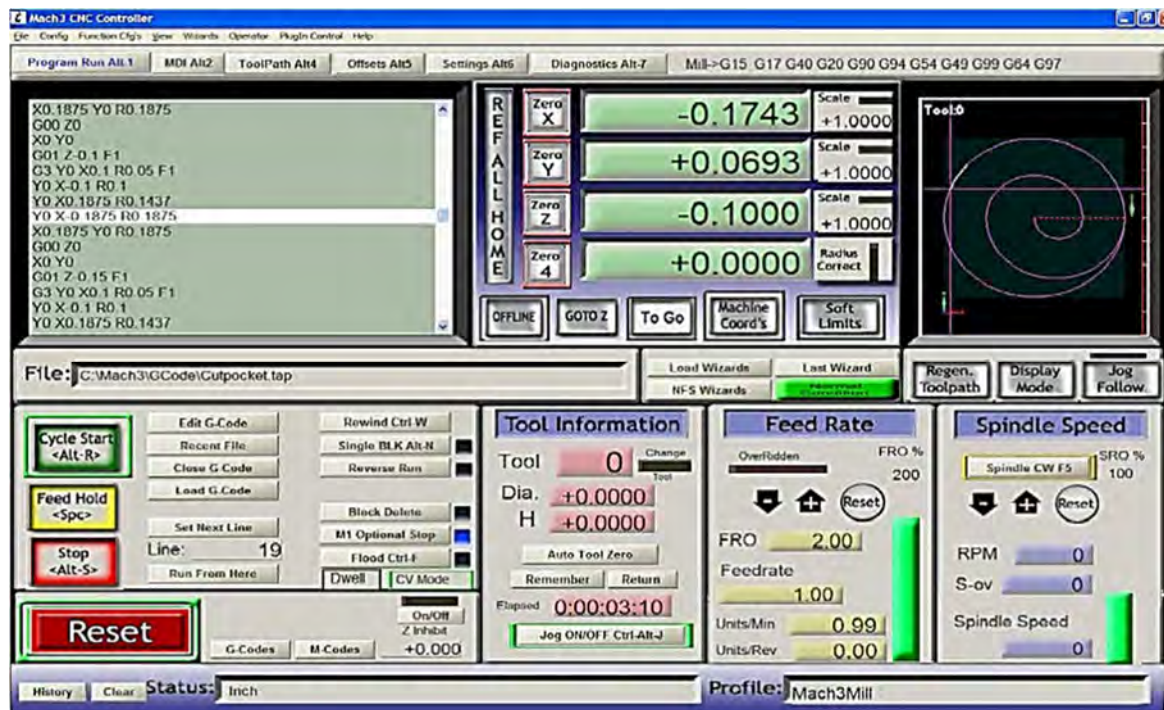
En el software CAD (1) se da el diseño conceptual de la pieza y/o ensamble, mientras que en el software CAM (2), se determina las estrategias de elaboración

⁹ Mach 3 es propiedad de Newfangled Solutions LLC.

de la pieza, con esto en el mismo CAM, se da la generación automática del programa NC, luego este programa se pasa al software Mach3, para realizar el control numérico. La principal función del software es procesar el G-code y generar las señales digitales de pulsos y dirección para realizar la tarea. El software por medio de una interfaz de salida hardware – software, denominada breakout board, encamina las señales de pulsos y dirección, para que lleguen al drive correspondiente.

Esta interfaz de salida además de enrutar las señales de control de pulsos y dirección, tiene otras dos funciones importantes; la primera función es realizar la de comunicar las periferia (entradas y salidas) con el software; esto es que se conectan finales de carrera, reles, pulsadores y elementos, para el control de las funciones de no movimientos por parte del software. La segunda función de la breakout board, es aislar de problemas eléctricos a la motherboard del PC donde se corra el Software Mach3.

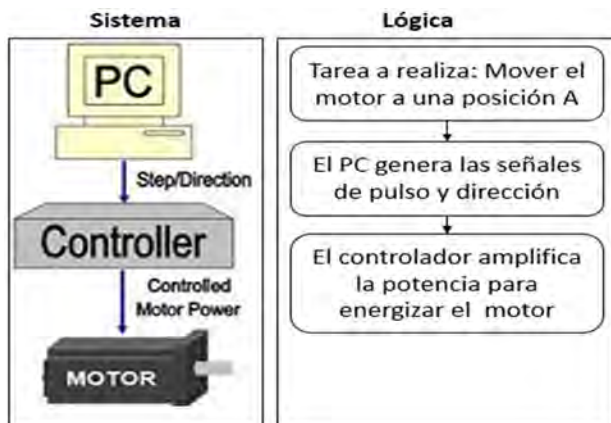
Figura 49. Interfaz Grafica del software mach3 CNC Controller.



Fuente. Mach3 Setup for CNC Micro Mill & CNC Micro Lathe. [En línea] micro-machine- [Consultado en Enero de 2014]. Disponible en Internet: http://www.micro-machine-shop.com/mach3_setup.htm

En la figura 51, se presenta el esquema utilizado para lazo abierto en la implementación con el software Mach3.

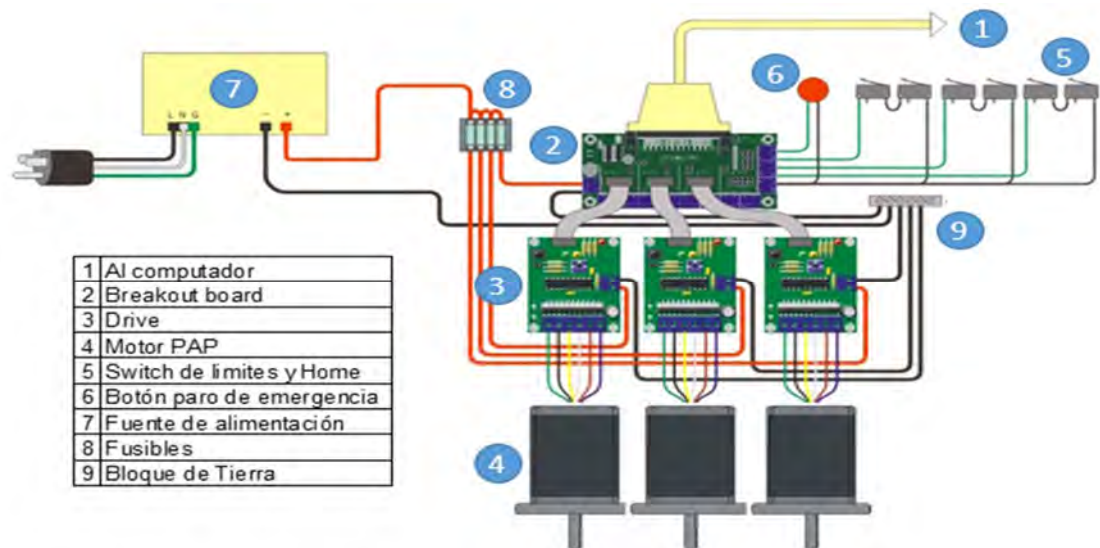
Figura 50. Lazo abierto con mach3



Además de ser el amplificador de corriente, el controlador recibe la señal de pulsos y dirección, y a su salida entrega la secuencia de pasos necesarios que alimentan las bobinas del estator y provocan que por cada combinación de pulsos el rotor avance un paso, por ejemplo: $1,8^\circ/\text{paso}$.

Fuente. Open vs. Closed loop system. [En línea] cncroutersource [Consultado en Febrero de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.cncroutersource.com/closed-loop-system.html>

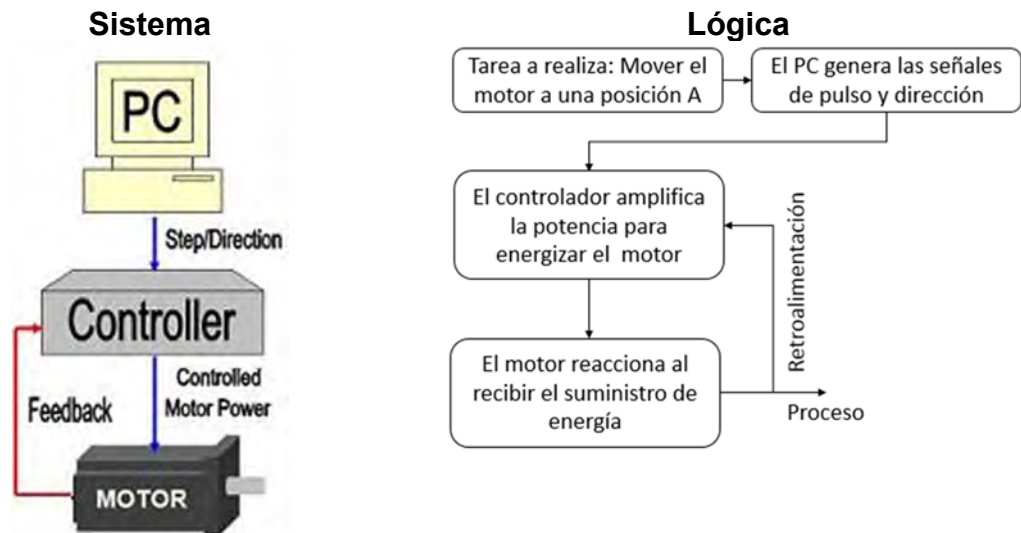
Figura 51. Elementos del retrofit a base de PC para lazo abierto haciendo uso de mach3



Fuente. Forums Web. [En línea] cnczone.com [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.cnczone.com/forums/archive/index.php/t-62652.html>.

En la figura 54, se presenta el esquema utilizado lazo cerrado en la implementación con el software Mach3.

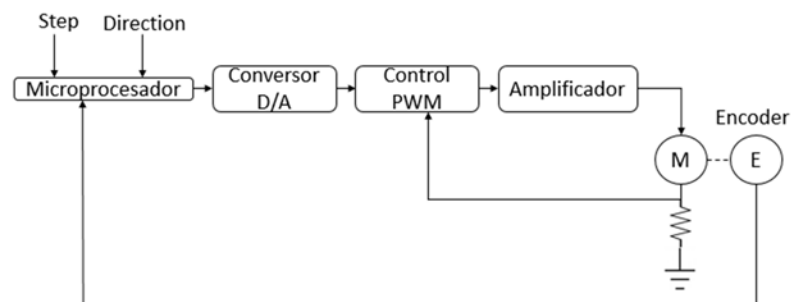
Figura 52. Lazo cerrado con mach3



Fuente. Open vs. Closed loop system. [En línea] cnczone.com [Consultado en Febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.cncroutersource.com/closed-loop-system.html>

Los servo drives digitales internamente traen lazos cerrado de control en cascada.

Figura 53. Control en cascada en un servodrive digital.



Así el servo drive digital utiliza la señal de pulsos y dirección proveniente de mach3 para compararla con la señal proveniente del encoder, el cual genera una de Pulsos correspondiente a la posición del motor, así el servodrive suministra una señal al servomotor para que esa posición se satisfaga.

El otro modo de operar la máquina, consiste en comunicar el CNC con la PC (por sus siglas en inglés, Personal Computer) por medio de puerto serie RS-232, con el objeto de cargarle figura prediseñadas en sistemas CAD/CAM. El software CAM genera el código G, el cual de acuerdo al estándar ISO 6983, puede ser interpretado por el Control numérico (NC). De esta forma, se puede cargar el código en la memoria del control numérico, para poder enviar señales de control a los driver de los motores que estarían en el pantógrafo.

En la industria se había implementado como primeras soluciones reportadas, el uso del Picopath y el Burny 2.5 Plus como CNC para los pantógrafos electrónicos que hacen uso del lector óptico, por lo que se amplían en los siguientes numerales.

5.3.1 Picopath. Este es el control numérico de dos ejes, diseñado por la empresa Linatrol System Inc., distribuido y responsable del servicio técnico del controlador HL-90, que es el caso del controlador que tiene el pantógrafo Víctor Auto 60S de la marca Thermadyne.

El Picopath utiliza un sistema de servocontrol con un lazo cerrado realimentado por un encoder para el control de posición y velocidad. Este bucle de control se realimenta cada milésima de segundo permitiendo la actualización para proporcionar información precisa para la realización de un contorno liso. Entre sus características más llamativas para el proyecto, se encuentra que permite cargar figuras prediseñadas en sistema CAD a través del puerto serie incorporado utilizando RS-232 o RS-422 para el enlace, así se puede hacer uso de un computador remoto u otro medio de almacenamiento y permite el corte de múltiples piezas en un solo programa. Al igual permite programación en lenguaje G-Code, manejando el estándar ISO 6983 al igual que EIA (RS-274D).

Para realizar este proyecto, con esta opción, se ofrece el siguiente kit de modernización que incluye hardware y software, la instalación se hace bajo un manual de instrucciones proporcionado por Linatrol System inc:

Tabla 3. Kit de modernización. Linatrol System inc.

Cantidad	Descripción
2	Cables Para Encoder - 4 m por cada uno.
1	Picopath CNC
1	Kit donde están las diferentes partes para realizar la interfaz entre el CNC y el HL-90.
2	Encoder Kit
1	Cable de conexión desde el HL90 al CNC
1	Office Software Para Programar el Picopath

Actualmente, se cuenta con soporte técnico por parte de la empresa con sede en Canadá, tanto para el controlador HL-90 como para la implementación del CNC a la máquina.

Figura 55. Picopath. a) Picopath. b). Picopath en el pantógrafo Víctor Auto 60S



a)



b)

Fuente. A) Picopath CNC Control [En línea] linatrol [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: <http://www.linatrol.com/pdf/picopath.pdf>. B) Línea de pantógrafos Victor [En línea] proesolda [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: <http://www.proesolda.com.mx/pant-victor.htm>

La premisa de la empresa Linatrol System inc. al ofrecer este kit, es que se cuente con las partes originales del sistema de control, como lo es el controlador y los servomotores DC.

5.3.2 Burny 2.5 Plus. Este fue el CNC construido por la actual Lincoln Electric Company, en la división Burny KALIBURN. Con el objeto de poder combinar el lector óptico con este CNC, permitiendo convertir un plano de papel escala 1 en 1

a formato digital y almacenarlo en el CNC igual que programas diseñados por AutoCAD.

Figura 56. Burny 2.5 plus integrado al HL-90



Actualmente, este equipo ya no se fabrica por la empresa Lincoln Electric Company, por este motivo no se profundiza en esta opción y hace algunos años se perfilaba como la opción más económica para realizar el retrofit junto a un kit similar presentado en la tabla 3.

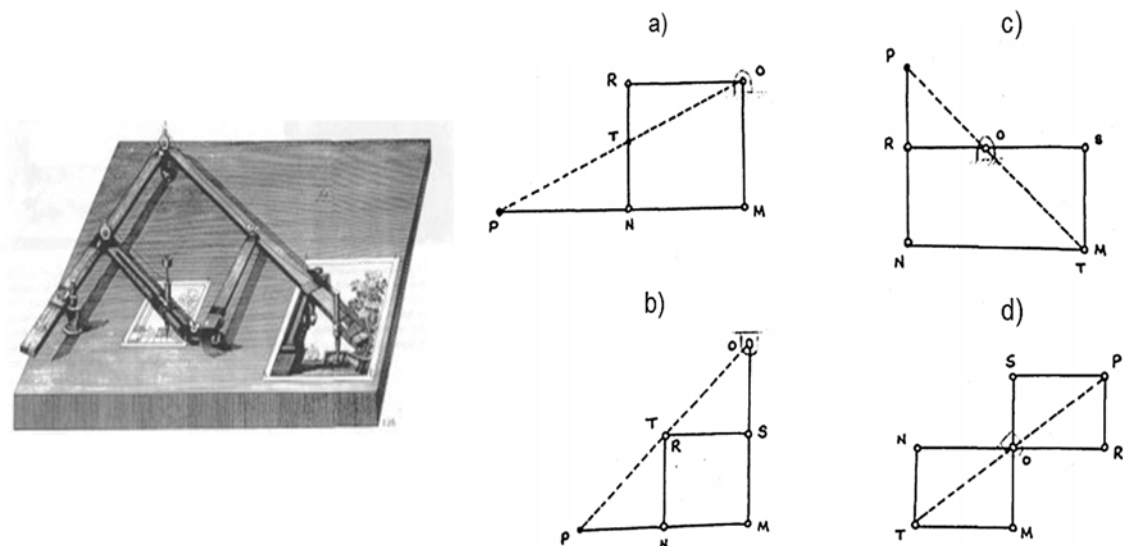
6. MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan conceptos que permiten abordar la problemática planteada en el proyecto.

6.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PANTÓGRAFO ELECTRÓNICO.

Un pantógrafo es un mecanismo articulado que permite copiar un dibujo en diferentes escalas a partir de una plantilla. Está basado en las propiedades de los paralelogramos. Consta de pivotes estacionarios y no estacionarios (punto de referencia y punto de copiado), en la figura 57, se presenta diferentes mecanismo de pantógrafos.

Figura 57. Pantógrafo (izquierda) y diferentes mecanismos de pantógrafos (derecha).



Fuente: Barragán Victoria, Carlos Arturo. Diseño de una fresadora copiadora tridimensional tipo pantógrafo. Trabajo de grado Ingeniero mecánico: Santiago de Cali: Corporación universitaria Autónoma De Occidente. Facultad de ingeniería, 1984. p. 4.

Sin embargo, el pantógrafo electrónico de marcar Thermadyne Victor de referencia Auto 60S, no tiene un mecanismo basado en las propiedades de los paralelogramos, se puede enmarcar en el concepto de una mesa de corte XY, lo

que debe su nombre esencialmente es debido a la función de hacer copias a partir de una plantilla física que tiene como referencia, haciendo uso de medios electrónicos para lograr la copia en una mesa contigua a la máquina.

El pantógrafo electrónico como MH sirve para hacer cortes en planchas metálicas en una variedad de formas en 2D, siempre y cuando se tenga un modelo original del cual hacer la copia. Así, un sistema de control envía señales direccionales en función del contorno recorrido, a los motores que mueven tanto el eje longitudinal como transversal de la máquina, para lograr la trayectoria deseada de la forma de la figura. El movimiento de los sopletes corresponde directamente a instrucciones codificadas que involucran las posiciones (señales de entradas) y las velocidades en las que los motores, de ambos ejes, se deben mover en el plano XY, para lograr la trayectoria que da forma a la figura.

El pantógrafo haciendo uso de Oxicorte permite cortar aceros de baja aleación, con capacidad desde 6 hasta 180 mm de espesor en aceros al carbono.

El uso del plasma en el pantógrafo permite cortar cualquier tipo de metal, alta precisión y bajo aporte de calor al material con relación al Oxicorte, con capacidades desde 2 mm hasta 38 mm de espesor en aceros al carbono y desde 2 mm hasta 25mm de espesor en aceros inoxidable.¹⁰

6.1.1 CORTE POR OXICORTE

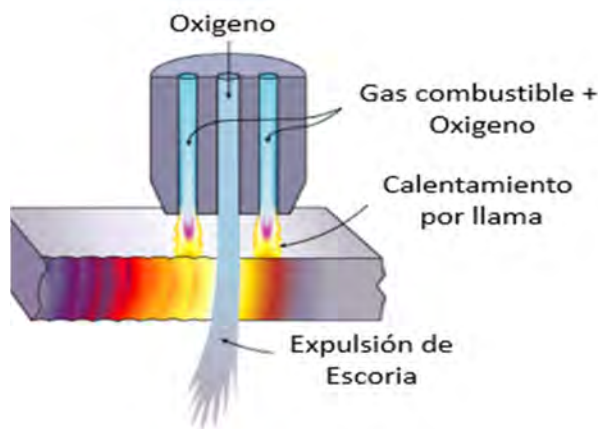
El sistema por oxicorte funciona en 2 etapas. En la primera etapa, el material se calienta a alta temperatura (900°C) con la flama producida por un gas combustible (contenido en tanques con acetileno, propano, hidrógeno o inclusive gasolina) en presencia de oxígeno (gas comburente que permite focalizar el proceso). Su objetivo no es fundir el metal, sino llevarlo a su temperatura de ignición. Una flama de propano-aire puede alcanzar los 2000°C, mientras que una flama de propano-oxígeno hasta los 2500°C, y una flama de acetileno-oxígeno entre 3200°C hasta 3500°C (aunque esta combinación de gas es el de mayor costo).

En la segunda etapa una corriente de oxígeno focalizado es inyectada (contenida en tanques de alta presión) para proporcionar el calor de flama. El calor se libera porque las moléculas del producto de la combustión tienen menor estado de energía que las moléculas de combustible y oxígeno.

¹⁰ Pantógrafos CNC. [En línea] ferrocortes. [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.ferrocortes.com.co/maquinaria-y-equipo/pantografos-cnc>

Con la presencia del oxígeno focalizado a altas temperaturas, ocurre una oxidación exotérmica en el hierro que aporta todo el calor necesario para “quemarlo”, transformándolo en óxido férrico (Fe_2O_3), que se derrite en forma de chispas puesto que su temperatura de fusión es menor a la del acero o que es soplado hacia el otro lado de la superficie.¹¹

Figura 58. Oxidación del metal por medio de oxicorte



Fuente. Corte por Oxicorte. [En Línea] twi-global [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/oxyfuel-cutting-process-and-fuel-gases-049/>

6.1.2 CORTE POR PLASMA

El plasma es un estado de la materia compuesta de átomos ionizados y electrones libres interactuando entre sí con una altísima conducción electromagnética y una alta densidad de energía, normalmente sostenida por temperaturas elevadas mayores a 30 mil °C.

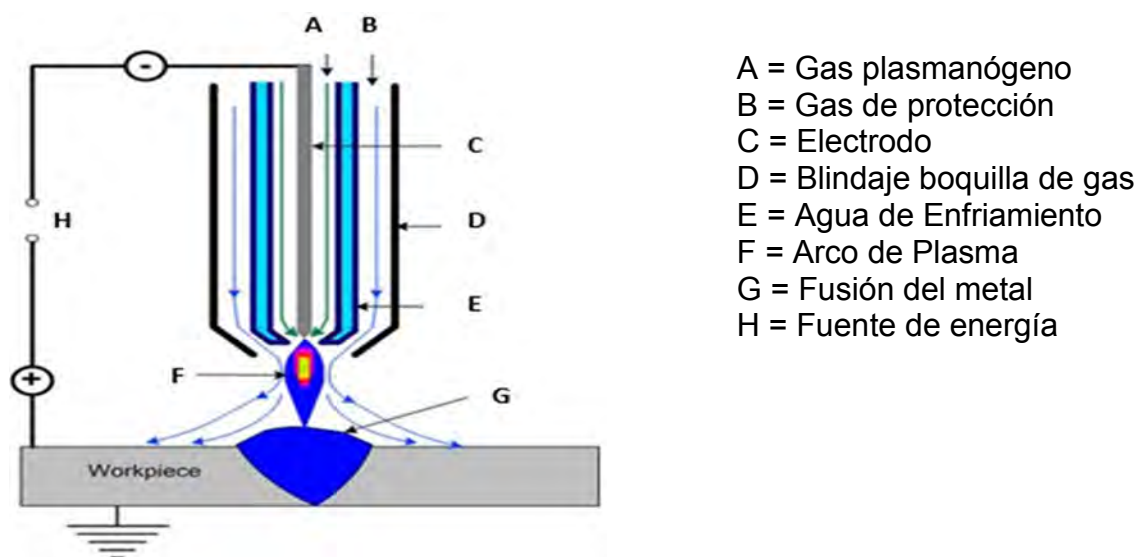
El concepto de un corte de plasma consiste en la aplicación de calor para elevar la temperatura del material a cortar de una forma focalizada por encima de los 30,000 °C, provocando que el gas utilizado se ionice convirtiéndolo en plasma con conducción electromagnética. Esto se logra formando un arco eléctrico extremadamente pequeño con una gran cantidad de energía concentrada que

¹¹ Teoría corte por oxicorte. [En línea] artinaid. [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-oxicorte/>

será ionizado, en la sección de la boquilla del soplete, produciendo un calor altamente compacto en la zona del corte.

Los cortadores de plasma envían gas presurizado como nitrógeno, argón u oxígeno a través de un canal muy pequeño. En el centro de este canal, se encuentra un electrodo cargado negativamente. Al aplicar electricidad al electrodo negativo y tocar la punta del metal, la conexión crea un circuito. Una chispa poderosa se genera entre el electrodo y el metal. Cuando el plasma entra en contacto con la superficie a cortar la penetrará, fundirá y expulsará el material desprendido.¹²

Figura 59. Oxidación del metal por medio de plasma



Fuente. Plasma ARC Welding. [En línea] artinaid. [Consultada en abril de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.artinaid.com/2013/04/plasma-arc-welding/>

6.2 MAQUINAS-HERRAMIENTAS (MH)

El pantógrafo electrónico se considera una máquina-herramienta; en definición una MH tiene el objetivo de sustituir el trabajo mecánico del operario al fabricar una pieza sólida en 2D¹³. Actualmente, las MH pueden operarse por control automático, mediante el control numérico Computarizado (CNC), en caso de

¹² Teoría corte por plasma. [En línea] artinaid. [consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.artinaid.com/2013/04/el-corte-de-plasma/>

¹³ Maquinas-Herramientas. Definición. [En línea] enciclonet [Consultada en Octubre de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.enciclonet.com/articulo/maquina-herramienta/>

mejorar las prestaciones de la maquina se ha integrado el control adaptable (AC, por sus siglas en ingles), el cual se define como:

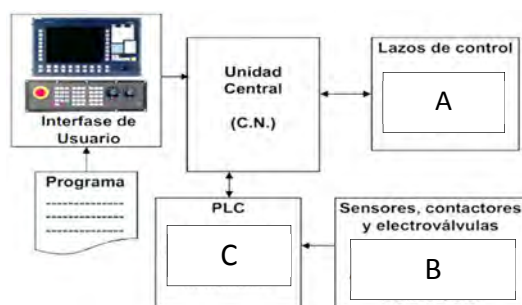
“Un sistema de retroalimentación dinámica en el que los parámetros operativos se adaptan en forma automática para ajustarse a nuevas circunstancias.”¹⁴

6.5 MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADOR (CNC) PARA MH.

“El control numérico (NC) es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.”¹⁵

Con la introducción de las capacidades computacionales al NC, hoy en día se habla del CNC, con ello se ha mejorado la precisión de los cortes, además de poder cambiar de diseño tan solo modificando el programa, lo que permite una automatización flexible. Al instalar y poner en funcionamiento el CNC, no se modifica ni la estructura mecánica, ni las funciones del pantógrafo. Esto tan solo hace que el movimiento de los ejes pueda ser programado. La estructura de una máquina-herramienta de control Numérico se presenta en la figura 60.

Figura 60. Estructura de una Máquina-Herramienta de NC.



- A) Lazos de Control. Control de ejes de la MH
- B) Sensores, contactores y electroválvulas. Estado de la MH, conexión de válvulas, motores, etc.
- C) PLC. Automatización funciones de no movimiento

Fuente: Control numérico para Máquinas-Herramientas. [En línea] ehu.es [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/737_ca.pdf

¹⁵ LASHERAS, José María. Tecnología mecánica y metrotecnica. Octavio y félez, S. A. 1996. p.879

6.5.1 Elementos de un NC. Los elementos básicos del NC son:

- Programa de instrucciones
- Unidad de Control de la maquina (MCU)
- Herramientas de la Maquina NC
- Herramientas de Corte de la Maquina NC.

6.5.1.1 Unidad de Control de la Maquina (MCU). La unidad de control de la máquina (MCU) es un microordenador que almacena el programa y ejecuta los comandos, para enviar las señales de control para la máquina-herramienta. La MCU consta de dos unidades principales: La unidad de procesamiento de datos (DPU) y la unidad de lazos de control (CLU). Primero, el diseño es decodificado por la DPU, pasando a la CLU la información sobre la posición deseada de caja eje, al igual que la dirección, la velocidad, la alimentación y hasta las señales de no movimiento.

La DPU consiste en:

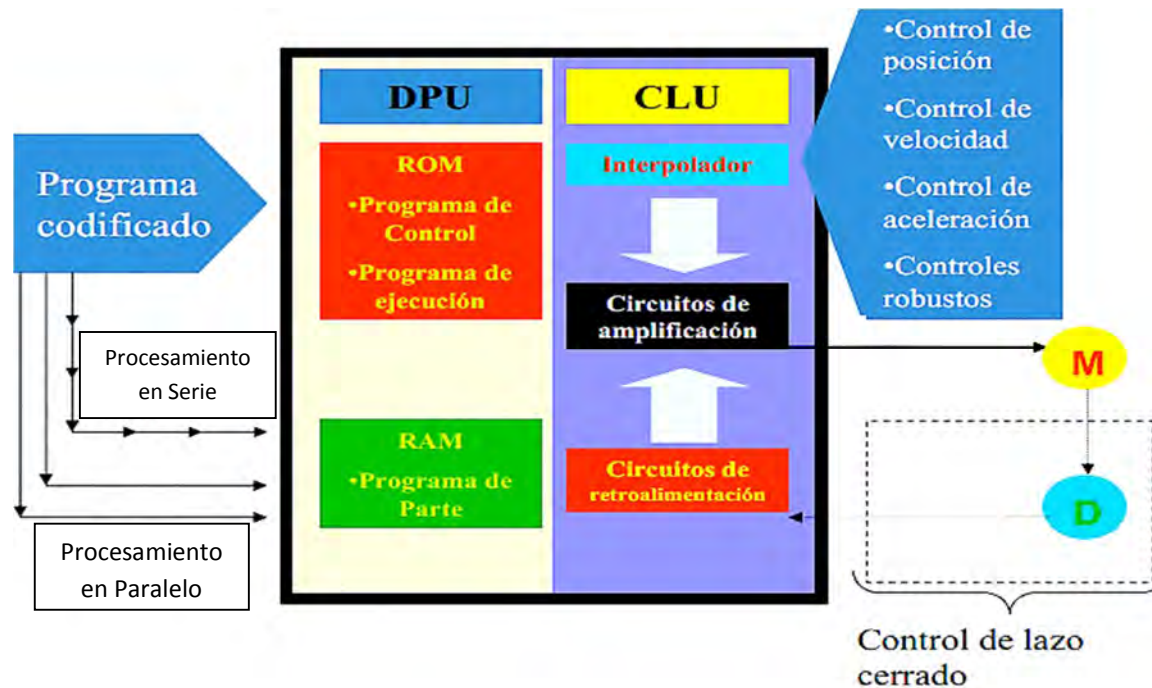
- Dispositivos de entrada
- Circuito Encargado de la lectura.
- Comprobación lógica de la paridad
- Circuito de decodificación
- Interpolador

La CLU consta de:

- Unidad de control de posición con dispositivo de retroalimentación por ejemplo, un encoder lineal.
- Unidad de control de Velocidad con dispositivos de retroalimentación por ejemplo, un encoder rotativo.
- Circuitos de corrección para Aceleración, retardos y retroceso.
- Control de funciones auxiliar por ejemplo refrigerante ON y OFF.

Secuencialmente la DPU lee los datos, cuando la ejecución de una línea (instrucción) es finalizada, la CLU lo indica a la DPU, para que la DPU continúe con la lectura de la otra instrucción. Así, los datos geométricos y cinemáticos se transfieren de la DPU al CLU. En base a estos datos, la CLU opera los mecanismos de accionamiento, al igual consta de los circuitos de control de movimiento, recibe las señales de realimentación de posición actual y la velocidad de cada uno de los ejes, e indica el tiempo de finalización de una operación.

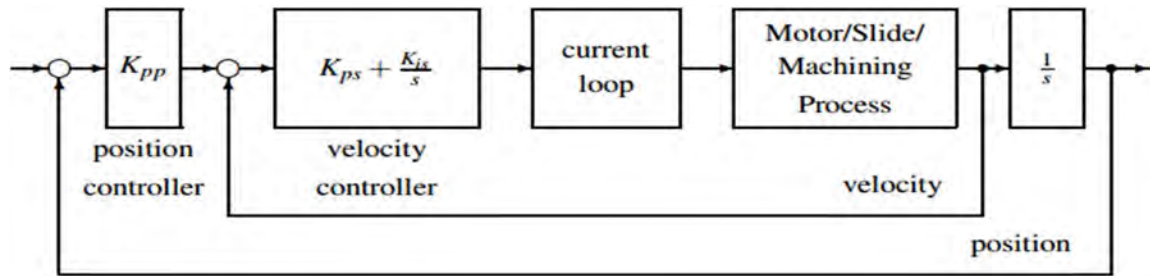
Figura 61. Descomposición de la unidad de control del NC.



Fuente: Controladores CNC [En línea] virtual.unal.edu [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/otros/Controladores%20CNC.pdf

6.5.1.2 Lazos de Control en un CNC. El sistema de control de realimentación consta de tres lazos de control independientes para cada eje de la máquina herramienta; el bucle de control más externo es un bucle de control de posición, el bucle del medio es un control de velocidad, y el bucle más interno es un bucle de control de corriente. El control de posición generalmente se encuentra en el NC y los otros se encuentran en un dispositivo de servo de conducción. Sin embargo, no existe una norma absoluta acerca de la ubicación de los bucles de control y las ubicaciones se pueden variar en base a la intención del diseñador.

Figura 62. Control en cascada en un CNC



Fuente. SUH, Suk-Hwan. KANG Seong-Kyoon. CHUNG Dae-Hyuk. STROUD Ian. Theory and Design of CNC Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. London: Springer, 2008. p. 17.

Un control de retroalimentación de la velocidad se hace con el objeto de mantener una velocidad de rotación regular. La señal de realimentación se genera de dos maneras; un taco generador, lo que genera un voltaje de inducción (señal analógica) y es la señal de realimentación, y un codificador óptico, el cual genera impulsos (señales digitales). En un CNC se puede encontrar las siguientes clasificaciones de un lazo de control:

- **Lazo Semi-Cerrado.** El detector de posición está unido directamente al eje de un servo motor. El rendimiento del bucle semi-cerrado depende en gran medida de la precisión del mecanismo utilizado (husillo a bolas, cremallera piñón, etc). La exactitud de la cremallera es limitada.
- **Lazo cerrado.** El detector de posición está fijado a la mesa de la máquina y la posición real es realimentada al sistema de control.
- **Lazo Híbrido.** En el bucle híbrido, hay dos tipos de control de bucle; bucle semi-cerrado, donde se detecta la posición del eje de un motor, y bucle cerrado, que se basa en una escala lineal. El bucle cerrado aumenta la precisión compensando el error que el bucle semi-cerrado no puede controlar.
- **Lazo abierto.** En lazo abierto no se tiene retroalimentación. El lazo abierto puede ser aplicado donde la precisión no es alta en el mecanismo y un motor paso a paso puede ser usado, la información acerca de éste motor se amplía en el ítem 6.7. En el lazo abierto no se necesita un detector ni un circuito de retroalimentación, la estructura es sencilla. La precisión del motor paso a paso viene influenciada directamente por la transmisión, el mecanismo, etc.

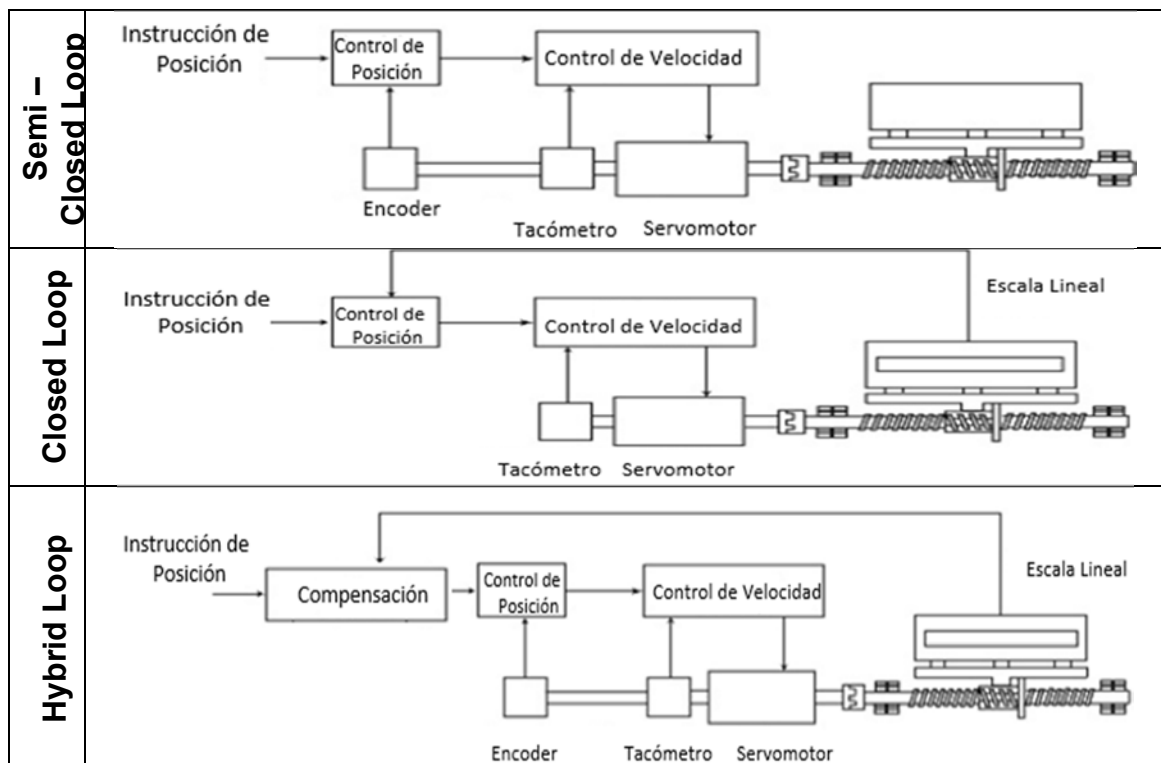
Figura 63. Lazo abierto de control en CNC



Fuente. Control de los motores paso a paso. [En línea] iesleonardo [Consultada en Abril de 2015]. Disponible en internet: <http://www.iesleonardo.info/ele/pro/CURSO%202002-2003/Juan%20Carlos%20de%20Pedro%20Ramos/images/motore12.gif>

A continuación se presentan los esquemas correspondientes a cada tipo de control mencionado anteriormente.

Figura 64. Lazos de control en un CNC.



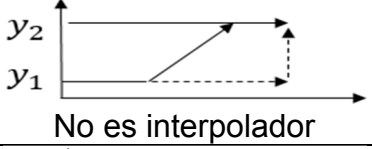
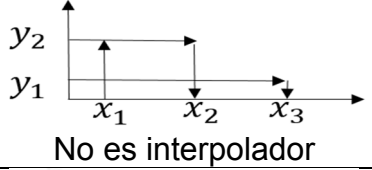
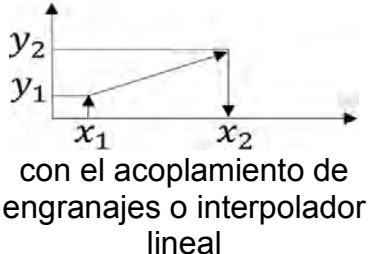
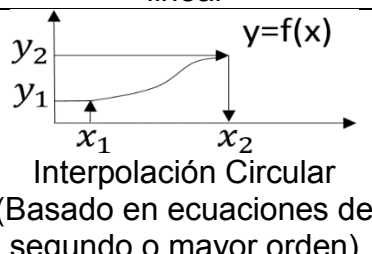
Fuente. SUH, Suk-Hwan. KANG Seong-Kyoon. CHUNG Dae-Hyuk. STROUD Ian. Theory and Design of CNC Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. London: Springer, 2008. p. 20.

6.5.1.3 Estrategias de control para la Generación de Trayectorias.

El CNC es capaz de controlar la herramienta a lo largo de una trayectoria que combina el movimiento de varios ejes en forma simultánea. Este movimiento simultáneo se define como interpolación de los ejes en una MH.¹⁶

La complejidad del movimiento está relacionada directamente con el tipo de movimiento que puede ser desarrollado. Las principales clasificaciones de las estrategias de control incluyen la interpolación: punto a punto (control para la posición), control de movimiento lineal (interpolación lineal) y el control de un camino continuo o contorno (interpolación circular). Esto se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Estrategias de control

Tipo de control	Problema	Acción de la Herramienta	Aplicación
Punto a Punto	 <p>No es interpolador</p>	No corta durante el movimiento	Taladrado, Soldadura por puntos
Movimiento Lineal	 <p>No es interpolador</p>	Corta durante el movimiento de la mesa	Torneado paralelo, Fresado
Movimiento Lineal con interpolación lineal	 <p>con el acoplamiento de engranajes o interpolador lineal</p>	Corta durante el movimiento de la mesa	Torneado Fresado
Trayectoria continua o control para contorno	 <p>Interpolación Circular (Basado en ecuaciones de segundo o mayor orden)</p>	Corta durante el movimiento de la mesa	Torneado, Fresado, oxicorte (algún contorno)

Fuente: CHRYSSOLOURIS, George. Manufacturing Systems: Theory and Practice. Segunda Edición. 2006. London: Springer. p. 145.

¹⁶ Control numérico para Maquinas-Herramienta. [En línea] ehu.es [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en internet: http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/737_ca.pdf

Para esto inicialmente, debe la unidad central leer e interpretar el código desarrollado. A continuación está procede a resolver el problema cinemático inverso partiendo de la trayectoria que deberá llevar la herramienta y así calcular el movimiento de cada eje.

6.5.1.4. Controlador Lógico Programable (PLC). Uno de los módulos del cual consta el control numérico es el PLC, esté se ha utilizado en la automatización de apertura y cierres de válvulas, activación/desactivación de alarmas, cambios de herramientas, en si en las operaciones que no se relacionan con el movimiento de los ejes. Puede venir integrado en la placa de la unidad central o puede estar como un módulo que se conecta a la unidad central. Este tiene entradas para los sensores como finales de carreras de la maquina o los pulsadores de paro de emergencia o también el de marcha. Para el control de estas funciones de no movimiento se destinan las funciones con M-Code. A continuación se presenta una lista de M-code destinado a Mach3 en la tabla 5.

Tabla 5. M-code Típicos de un controlador CNC.

M-code	Functions	M-code	Functions
M0	Program stop	M200	Output 5 on
M1	Optional program stop	M201	Output 5 off
M3/M4	Rotate spindle clockwise/counterclockwise	M202	Output 6 on
M5	Stop spindle rotation	M203	Output 6 off
M6	Tool change (by two macros)	M204	Output 7 on
M7	Mist on	M205	Output 7 off
M8	Flood on	M206	Output 8 on
M9	Mist & flood off	M207	Output 8 off
M30	Program end and rewind	M208	Output 9 on
M47	Repeat program from first line	M209	Output 9 off
M48	Enable speed and feed override	M210	Output 10 on
M98	Call subroutine	M211	Output 10 off
M99	Return from subroutine/repeat	M212	Output 11 on
		M213	Output 11 off
		M214	Output 12 on
		M215	Output 12 off

6.6 TÉCNICA DEL RETROFIT

Como se mencionó en la sección de introducción, el retrofit se encarga de sustituir e incorporar nueva tecnología de control, si es el caso, y realizar las modificaciones necesarias para que la maquina pueda ser ajustada a las necesidades del cliente. Se da en la industria como una opción cuando la renovación completa de las máquinas tiene costos muy elevados o en otros casos cuando: la máquina empieza a llegar al fin de su vida útil, la disponibilidad de repuestos es escasa, las prestaciones de la máquina no está acorde a las necesidades actuales, etc.

La incorporación de un CNC a la MH no cambia la arquitectura, ni la estructura ni la función de está, tan solo permite que el movimiento de los ejes sean programados. Aplicando la técnica del retrofit para la incorporación del CNC, se debe tener en cuenta que la máquina no debe presentar problemas mecánicos y un correcto funcionamiento en el momento actual.

Existen aspectos que impulsan la decisión de este tipo de proyecto, estos pueden incluir:

- En el aspecto técnico:
 - La máquina debe estar funcionando en óptimas condiciones.
 - En la maquina se pueda medir magnitudes eléctricas.
 - Se conozca los detalles de su funcionamiento: mecánico, algoritmo de control actual, etc.
 - Se conozca los detalles del proceso que se necesita para que la maquina se pueda utilizar.

Un aspecto fundamental, y que relaciona la calidad del resultado y la cantidad de tiempo empleado en un retrofit según Marc Van Overbeke¹⁷, en la Revista Electro industrial en la edición de Julio 2011, es la calidad de documentación disponible: especificaciones, manuales, planos, diagramas y sus modificaciones; esto con el objeto de evaluar la viabilidad técnica de la modernización en el equipo.

¹⁷ Jefe de Negocio de SHH Electrónica Industrial.

- En el aspecto económico:

Esto es analizar la tasa de retorno, las cuestiones relacionadas con estos factores, pueden ser: ¿Cuánto cuesta la parada por falla por unidad de tiempo?, ¿En cuánto espero reducir estas paradas?, ¿Cuál es la eficiencia esperada luego del retrofit?, ¿Es la disminución del riesgo significativa?, ¿Existe un mejoramiento en la merma al impacto ambiental?, ¿Mejora la competitividad de la compañía?, ¿Qué significa en términos de ahorro de repuestos?¹⁸

Y compararlos en relación a: Costos de la solución disponible, Costos de producción para hacer el cambio y Costos de capacitación de la nueva tecnología.

- En la selección de un proveedor: Con respecto a los criterios para elegir un proveedor para realizar retrofit, se basa en que esté identifique plenamente la problemática involucrada y tenga un soporte postventa a largo plazo.

Los beneficios de un Retrofit pueden abarcar los siguientes puntos:

- Disminución de Costos.
- Aumento de la productividad: uso óptimo de los recursos.
- Tecnología más económica.
- Ahorro de mano de obra.
- Reducción de tiempos de fabricación.
- Dotación a la máquina de mayores prestaciones.

6.7 MOTOR PASO A PASO

Los motores PAP se mueven de acuerdo a una secuencia de pasos dependiente de la cantidad de pulsos que se aplique. El paso se puede encontrar dese 1,8° hasta de 90°. El motor puede quedar enclavado en una posición si una o más de sus bobinas esta energizada o también si no existe corriente alguna circulando por estas se retiene la última posición tomada. La clasificación de los motores paso a paso según su construcción es:

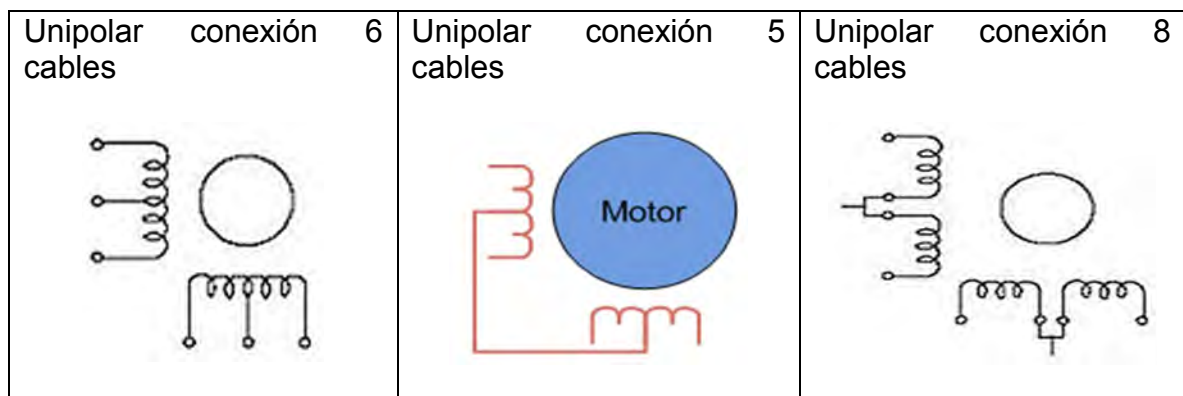
- Reluctancia variable: El rotor está fabricado por un cilindro solido de hierro dulce con un mecanizado en forma de dentado y el estator está formado por bobinas conectadas a un terminal común.

¹⁸ Retrofit en la Industria. [En línea] Revista Electro industrial. [Consultada en enero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1647>

- **Imán permanente:** Son actualmente los más utilizados. Su rotor es un imán que posee una ranura en toda su longitud y el estator está formado por bobinas enrolladas alrededor de un núcleo. Según la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator se pueden encontrar:

Unipolares: Se componen de 4 bobinas. Se hace necesario que el motor tenga al menos 5 cables, normalmente se encuentran 6 cables externos, pero con 5 si se comparte los terminales de alimentación. Los bobinados tiene una toma intermedia y la corriente se aplica siempre en el mismo sentido a cada bobinado. Se pueden encontrar las siguientes configuraciones:

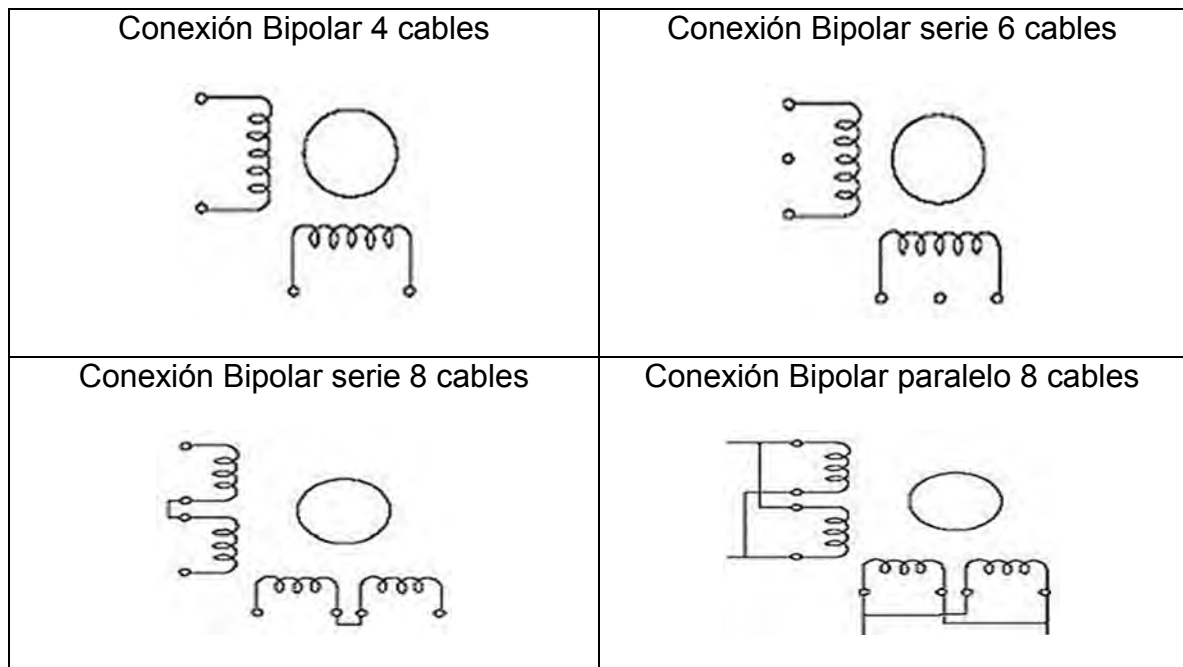
Figura 65. Configuraciones motores paso a paso unipolares



Fuente. Osmetc. [En línea] osmttec.com [Consultada en junio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.osmttec.com/images/uniPolar-vs-bipolar2.jpg>

Bipolares: La corriente que circula por las bobinas cambia en sentido gracias a una determinada secuencia para así provocar el movimiento del eje. Cualquier motor unipolar puede utilizarse como bipolar, esto se hace no usando la toma intermedia, así en bipolar el torque es mayor que el unipolar pero la inductancia es más elevada por lo que disminuye su velocidad máxima. En motores bipolares se pueden encontrar diferentes configuraciones:

Figura 66. Configuraciones motor paso a paso bipolar



Fuente. Osmtec. [En línea] osmtec.com [Consultada en junio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.osmtec.com/images/uniPolar-vs-bipolar2.jpg>

En los unipolares, los devanados se excitan de uno en uno, mientras que en las bipolares se realiza por pares con inversión de la corriente.

Los mas utilizados para aplicaciones CNC son los motores PAP en construcción de imanes permanentes, por lo que se profundizara en estos. Normalmente los motores paso a paso viene en presentaciones de 8, 6 y 4 cables. El motor de 8 cables se pueden configurar para unipolar o para bipolar (serie o paralelo), mientras que el motor de 6 cables se puede configurar para unipolar o bipolar serie, pero el motor de 4 cables solo se puede configurar para bipolar. Los polos que utiliza todo motor paso a paso son (+A), (-A), (+B) y (-B). Es recomendable que el motor se trabaje con corriente menor que la nominal en un 30% para evitar sobrecalentamiento.

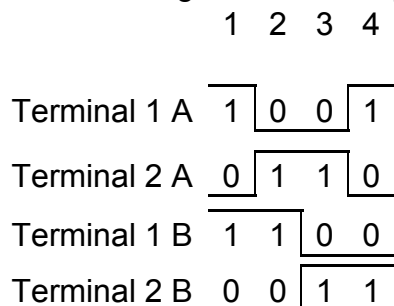
Características Funcionales¹⁹

- Angulo de paso: es el avance angular de un paso que se produce en el motor por cada impulso de excitación. Su medida esta en grados.
- Par de mantenimiento (Holding Torque): es el torque requerido para girar el motor cuando éste se encuentra energizado
- Par dinamico de trabajo (Working torque): es el torque maximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso
- Pull in Torque: es el torque de carga con el que un motor puede acelerar desde cero sin perder pasos cuando es controlado a una tasa constante de pasos.
- Pull out torque: es la carga que un motor puede mover a una determinada velocidad de operación.
- Par de detencion (Detent torque): es el torque requerido para rotar el eje mientras los arrollamientos no están energizados
- Las características que más influyen sobre el torque y velocidad de rotación para un motor determinado son: resistencia e inductancia de los enrollados.

6.7.1 Técnicas de control en motores paso a paso. En el caso de los motores PAP bipolares, en las técnicas de control se necesita la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso. El sentido de giro está determinado por la secuencia que se utiliza. Las secuencias presentadas a continuación están dadas para un motor bipolar de 4 cables.

➤ Secuencia Full step

Diagrama de Tiempo



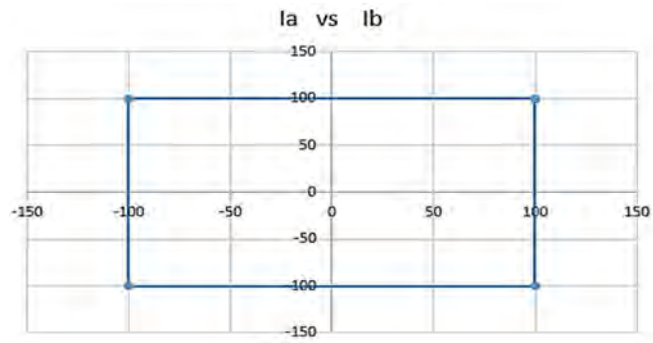
*El signo (-) significa cambio de sentido de la corriente.

Diagrama de Fase full Step*

Step	Motor Current in %	
	Ia	Ib
1	100	100
2	-100	100
3	-100	-100
4	100	-100
1	100	100

¹⁹ Motores Paso a Paso. [En línea] ing.unlp.edu [Consultada en junio de 2015]. Disponible en internet:

http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/PPT_Motores_Paso_a_Paso.pdf



➤ **Secuencia Wave step**

Diagrama de Tiempo

1 2 3 4

Terminal 1 A $\overline{1}$ $\boxed{0}$ $\boxed{0}$ $\boxed{0}$

Terminal 2 A $\boxed{0}$ $\boxed{0}$ $\boxed{1}$ $\boxed{0}$

Terminal 1 B $\boxed{0}$ $\boxed{1}$ $\boxed{0}$ $\boxed{0}$

Terminal 2 A $\boxed{0}$ $\boxed{0}$ $\boxed{0}$ $\boxed{1}$

Diagrama de fase Wave step

Step	Motor Current in %	
	Ia	Ib
1	100	0
2	0	100
3	-100	0
4	0	-100
1	100	0

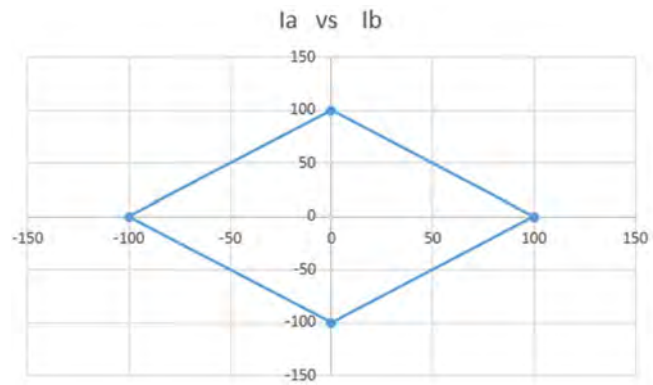
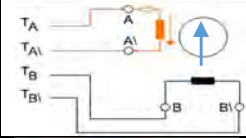
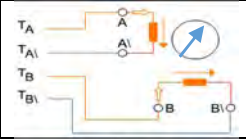
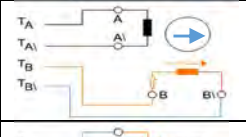
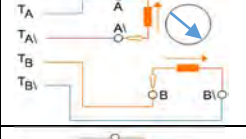
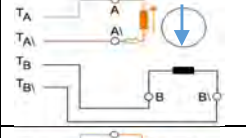

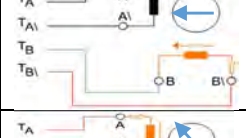



Tabla 6. Secuencia half step

	Terminal 1 Bobina A	Terminal 2 Bobina A	Terminal 1 Bobina B	Terminal 2 Bobina B	
Paso 1	1	0	0	0	
Paso 2 (full)	1	0	1	0	
Paso 3	0	0	1	0	
Paso 4 (full)	0	1	1	0	
Paso 5	0	1	0	0	
Paso 6 (full)	0	1	0	1	
Paso 7	0	0	0	1	
Paso 8(full)	1	0	0	1	

Fuente. Simulador Stepper motor. [En línea] Nanotec Plug and Drive. [Consultada en Mayo de 2015] Disponible en internet: <http://en.nanotec.com/support/tutorials/stepper-motor-and-bldc-motors-animation/>

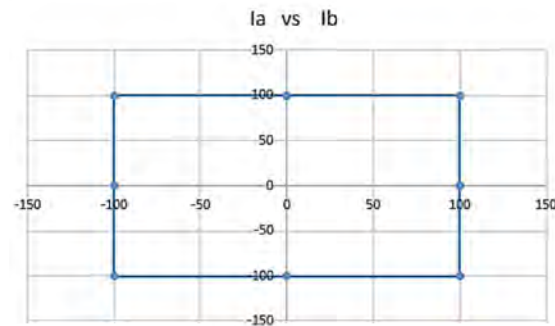
➤ Secuencia Half Step

Diagrama de Tiempo Half step

	Step							
Full		1		2		3		4
Half	1	2	3	4	5	6	7	8
Terminal1 A	1	1	0	0	0	0	0	1
Terminal2 A	0	0	0	1	1	1	0	0
Terminal1 B	0	1	1	1	0	0	0	0
Terminal2 B	0	0	0	0	0	1	1	1

Diagrama de fase half step

	Motor Current in %	
Step	Ia	Ib
1	100	0
2	100	100
3	0	100
4	-100	100
5	-100	0
6	-100	-100
7	0	-100
8	100	-100



El torque resultante es en función de la corriente que circula por las bobinas, así que en los diagramas de fase la longitud desde el centro de la gráfica hasta algún punto de esta, permitirá relacionar el torque y la corriente que hay en ese momento. Teniendo en cuenta los diagramas de fase de cada secuencia se puede sacar las siguientes conclusiones:

- En la secuencia full step el torque es mayor que en la secuencia wave step debido a que en las esquinas del diagrama de fase se halla una distancia mayor, esto significa que en full step se energizaron 2 devanados mientras que en wave step se energizo 1 solo devanado a la vez, la primera situación permitirá un mayor torque.
- En la secuencia full step se puede encontrar que el motor tendrá un movimiento brusco para dar un paso, esto es por el cambio brusco en la corriente.

- Con la secuencia wave step, se reduce el torque. Lo que utilizarla sola brinda el beneficio de ahorro energético al tener que activar una sola bobina a la vez.
- La unión de la secuencia full step y wave step es la secuencia half step, lo que permite un movimiento más suave pero con variación de torque durante el movimiento del rotor. Esto en la práctica ante cargas produce vibraciones producto de la resonancia mecánica, y para la aplicación de mesas de corte no se hace satisfactorio, debido a que no se da un movimiento aun suave para esta aplicación.
- Con la secuencia half step se mejora en la resolución del paso a la mitad del dispuesto por full step y wave step. Esto significa que el motor de ejemplo al estar fabricado para brindar $90^\circ/\text{paso}$, con esta configuración permite trabajar con $45^\circ/\text{grado}$.

Para obtener un movimiento suave; esto es una mayor resolución del rotor junto a un torque constante durante la operación a bajas velocidades, para eso estas técnicas tradicionales no ayudarían para la aplicación, para esto la electrónica moderna ha desarrollado la técnica denominada micropasos (microstepping).

6.7.1.1 La técnica en micro pasos. Esta es una técnica que logra subdividir el ángulo de paso del motor en varias fracciones de paso. Esta técnica consiste en transferir la corriente de una espira a otra gradualmente. Para lograr este propósito el controlador envía pulsos al motor en forma de ondas sinusoidales, tanto a la bobina A como a la bobina B, estas ondas están desfasadas 90° grados eléctricos, así cuando la corriente en una bobina aumenta, en la otra disminuye.

Comercialmente se puede encontrar motores paso a paso que los números grados/ paso habitual son: 0.72, 1.8, 3.6, 7.5 hasta 90° . Si el fabricante brinda la posibilidad de dar $1.8^\circ/\text{paso}$ esto significaría que se necesitaría 200 pasos para completar una vuelta completa (360°) y un drive comercial permite trabajar en 10 y 5 micropasos, para el primer caso se tendrá:

$1.8^\circ/\text{paso}$: Información del fabricante

10: Cantidad de Micropaso por Paso Completo permitidos por el drive comercial.

$(1.8^\circ/\text{paso}) / 5 = 0.36^\circ / \text{Paso} = \text{Resolución del Micropaso}$

Con esta implementación, significara que para dar una vuelta completa con la nueva resolución se necesitara $360^\circ / 0.36^\circ = 1000$ micropasos.

Para efecto explicativo se presentara un motor que tiene $90^\circ/\text{paso}$ y que hace uso del drive que permite la configuración de 10 micro pasos, esto es $9^\circ/\text{paso}$, en estas condiciones se necesitaran 40 pasos para realizar una vuelta completa (360°)

Para la corriente que pasa por la bobina A, se denominara i_a y se aplica la función coseno mientras que la corriente que pasa por la bobina B se aplica la función el seno. Este ejercicio se presenta con el objeto de explicar la función que internamente hace la electrónica del drive de micro pasos.

Tabla 7. Secuencia micropasos

Step	Grados	$\pi/2$	seno	coseno	i_b (%)	i_a (%)
0	0	0,017453293	0	1,00	0	100
1	9	0,017453293	0,16	0,99	16	99
2	18	0,017453293	0,31	0,95	31	95
3	27	0,017453293	0,45	0,89	45	89
4	36	0,017453293	0,59	0,81	59	81
5	45	0,017453293	0,71	0,71	71	71
6	54	0,017453293	0,81	0,59	81	59
7	63	0,017453293	0,89	0,45	89	45
8	72	0,017453293	0,95	0,31	95	31
9	81	0,017453293	0,99	0,16	99	16
10	90	0,017453293	1,00	0,00	100	0
11	99	0,017453293	0,99	-0,16	99	-16
12	108	0,017453293	0,95	-0,31	95	-31
13	117	0,017453293	0,89	-0,45	89	-45
14	126	0,017453293	0,81	-0,59	81	-59
15	135	0,017453293	0,71	-0,71	71	-71
16	144	0,017453293	0,59	-0,81	59	-81
17	153	0,017453293	0,45	-0,89	45	-89
18	162	0,017453293	0,31	-0,95	31	-95
19	171	0,017453293	0,16	-0,99	16	-99
20	180	0,017453293	0,00	-1,00	0	-100
21	189	0,017453293	-0,16	-0,99	-16	-99
22	198	0,017453293	-0,31	-0,95	-31	-95
23	207	0,017453293	-0,45	-0,89	-45	-89
24	216	0,017453293	-0,59	-0,81	-59	-81
25	225	0,017453293	-0,71	-0,71	-71	-71

Tabla 7. (Continuación)

26	234	0,017453293	-0,81	-0,59	-81	-59
27	243	0,017453293	-0,89	-0,45	-89	-45
28	252	0,017453293	-0,95	-0,31	-95	-31
29	261	0,017453293	-0,99	-0,16	-99	-16
30	270	0,017453293	-1,00	0,00	-100	0
31	279	0,017453293	-0,99	0,16	-99	16
32	288	0,017453293	-0,95	0,31	-95	31
33	297	0,017453293	-0,89	0,45	-89	45
34	306	0,017453293	-0,81	0,59	-81	59
35	315	0,017453293	-0,71	0,71	-71	71
36	324	0,017453293	-0,59	0,81	-59	81
37	333	0,017453293	-0,45	0,89	-45	89
38	342	0,017453293	-0,31	0,95	-31	95
39	351	0,017453293	-0,16	0,99	-16	99
40	360	0,017453293	0,00	1,00	0	100

Figura 67. Diagrama de Fase Control por micropasos

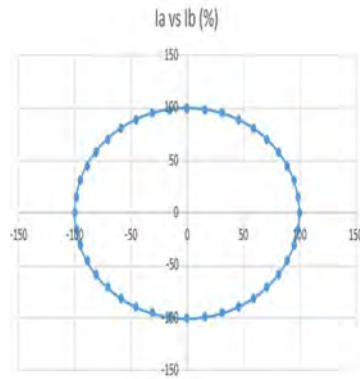
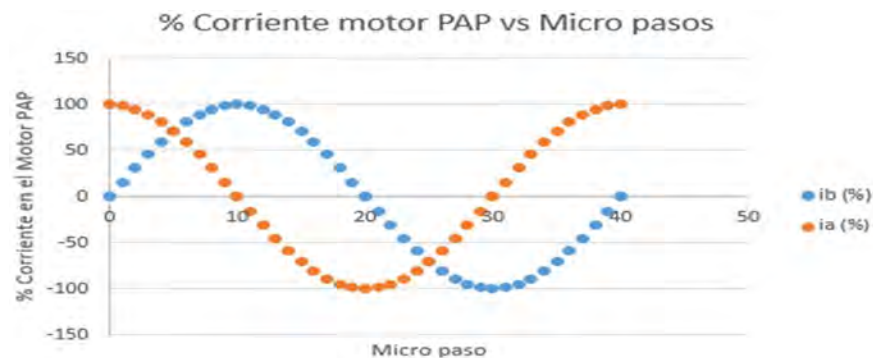
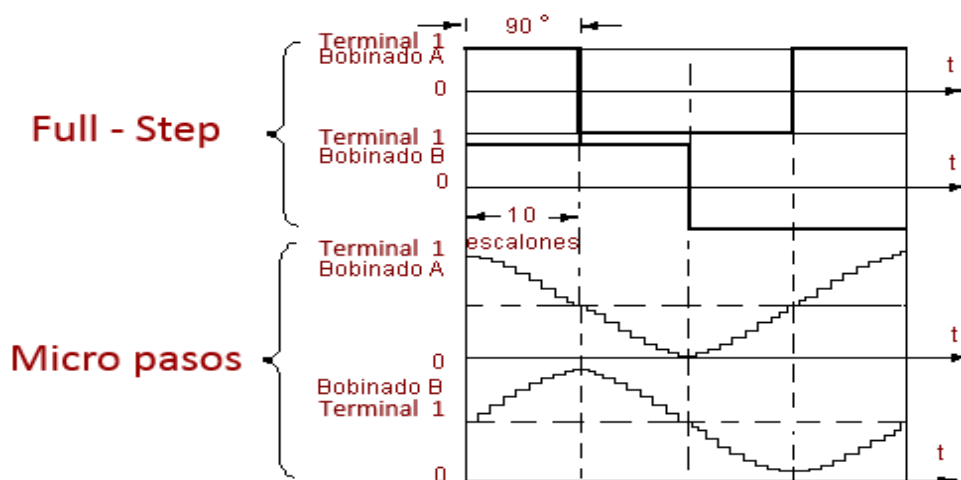


Figura 68. % Corriente del motor vs micro pasos



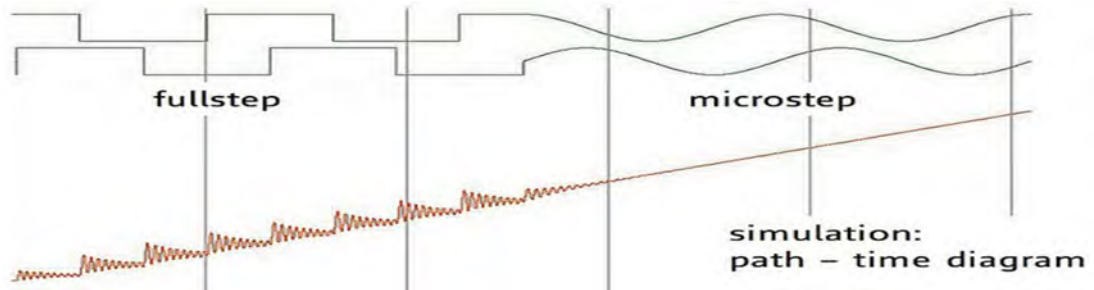
¿Esto qué significa?: Significa que aplicando la técnica de micro pasos se va a aumentar en una bobina A gradualmente la corriente en pequeños pasos mientras que en el mismo instante se estará disminuyendo en una bobina B gradualmente, debido a que se tiene un campo magnético no homogéneo entre los dos campos del rotor y estator.

Figura 69. Técnica de micropasos



Fuente. Control de motor paso a paso por Microstepping. [En línea] pfinalfra.com [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.pfinalfra.com.ar/proyectos/Microstepping/Image36.gif>

Figura 70. Vista desde la transición del rotor según el tipo de control utilizado.



Fuente. Usuario Hellmut1956. [En línea] forosdeelectronica. [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.forosdeelectronica.com/f27/arduino-l298-solo-funciona-usb-125068/>.

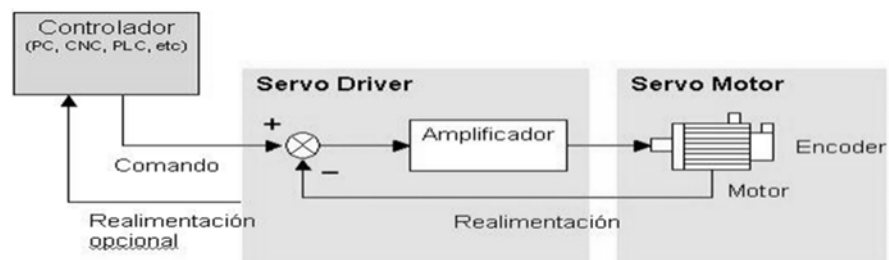
Así la técnica de micro-pasos logra ventajas que no se obtienen con los métodos tradicionales de control sea por Fullstep, y HalfStep. Las siguientes son ventajas que se pueden encontrar:

- Aumento de la resolución del motor paso a paso a controlar, seleccionable a voluntad del usuario.
- Desplazamiento más uniforme del eje del motor, debido al aumento de resolución del mismo.
- Eliminación de los problemas de resonancia, debido el desplazamiento más continuo del eje del motor.
- Obtención de un torque más uniforme en el motor.
- El microstepping debe ser trabajado en velocidades bajas.
- El torque es uniforme para cualquier ángulo, debido a que la corriente neta es constante, en una bobina disminuye mientras que en la otra aumenta en la misma proporción.
- Todos los motores paso a paso pueden ser de micro paso debido a que el micropaso es una función del controlador.
- Cada paso crea una oscilación mecánica. Con los micropasos se logra una mínima oscilación en la transición de la posición del rotor.

6.8 SERVOMOTORES

Los servomotores con su correspondiente driver (servodriver), son dispositivos de accionamiento para el control de precisión de velocidad, torque y posición. Tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Esto lo hace gracias a un sistema de control, que traen internamente. Los servomotores tienen la capacidad de ser controlados en posición y velocidad, por medio de comandos que pueden enviarse al servo mediante señales de pulso de duración y frecuencia específica.

Figura 71. Circuito realimentado haciendo uso de un servo driver.



Fuente. Servomotores. [En línea] El ABC de la automatización [Consultado en Enero de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño para la automatización del pantógrafo Electrónico de Marca Thermadyne Victor de Referencia Auto 60S en la Empresa CORTEMETAL S.A.S, enfocado a repotenciar el sistema de corte en la máquina.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el sistema mecánico, electrónico y las estrategias de control que utiliza el pantógrafo VICTOR AUTO 60S
- Determinar las necesidades y requerimientos del cliente con relación a la repotenciación del sistema de corte.
- Diseñar en sistemas CAD, el modelo dimensional del pantógrafo VICTOR AUTO 60S.
- Determinar y calcular los parámetros de diseño para los elementos necesarios para la repotenciación del sistema de corte.
- Evaluar las alternativas disponibles, en cuanto a sus características técnicas y económicas para la repotenciación del equipo.
- Seleccionar las tecnologías necesarias para la repotenciación del equipo, con base en los requerimientos del cliente y al diseño realizado.
- Presentar el diseño y el control del sistema de manera detallada, haciendo énfasis en actuadores y subsistemas involucrados.

8. DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

➤ Descripción del producto

Repotenciación del pantógrafo Electrónico VICTOR AUTO 60S de la marca Thermadyne.

➤ Mercado Primario

Empresas que hacen uso de mesas de corte XY en la configuración del pantógrafo electrónico VICTOR AUTO 60S

➤ Premisas y restricciones

- La propuesta involucra un sistema que trabajara bajo las condiciones de oxicorte y plasma. La condición de oxicorte significa que se debe esperar a que la llama oxide el material a cortar y esperar un tiempo en el cual ya es apto para ser cortado, este tiempo es en función del grosor de la lámina y el tipo de material a cortar.
- Trabajar con las limitaciones mecánicas de la máquina, esto es: El sistema mecánico de la maquina actual se mantendrá intacto, así la tolerancia de las piezas no será ni mayor ni menor de la tolerancia que la maquina puede dar, esto es que la tolerancia mecánica puede dar (2 – 3 mm).
- La velocidad a la que se puede cortar puede ser en referencia a la tabla de velocidades del fabricante del equipo de plasma power cut 1250 en función de los materiales, sin embargo, tiene prioridad la información brindada por el fabricante del pantógrafo, el cual indica un máximo de 3000 mm/min.
- Cuando el poder calorífico de la llama ha permitido traspasar el material, el corte se puede realizar en cualquier dirección. La premisa aquí es que siempre la llama puede cortar lateral al material pero como está montada sobre una superficie se hace necesario una primera perforación, a continuación la herramienta de corte (antorcha) puede seguir el camino configurado.

➤ **Partes Implicadas**

- Usuarios.
- Operarios.
- Personal de producción.
- Expertos en la materia de repotenciación de maquinarias.
- Proveedores.
- Universidad Autónoma de Occidente.

9. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

9.1 Descripción del proceso llevado a cabo para identificar las necesidades.

Durante cierto periodo se realizaron reuniones con el gerente de la empresa, en las cuales él consideraba tener claridad en las necesidades que deseaba suplir con el proyecto, estas en un principio eran:

- Retirar el controlador HL-90 (lector óptico).
- Dotar la capacidad CNC a la máquina.
- Aumentar la velocidad de corte.
- No puede existir trepidación (Vibración).

Determinado ello, pase a una etapa de retroalimentación, en la cual con entrevista a operarios que se relacionan directamente con el uso de la máquina y directamente con el estudio del entorno del área de producción y la evaluación de los productos competitivos por benchmarking, se determinan unas necesidades extras que involucren la problemática. De esta manera se determinó un aspecto muy importante para mencionar, es que el punto de vista de los operarios y el jefe de planta, discernían con el punto de vista del gerente en algo puntual, el retiro del controlador HL-90, esta era la idea general de ellos:

“El alma de la maquina es el lector óptico porque el nicho de mercado de la empresa consiste en clientes que viene con una pieza sin medidas algunas, y medirlas es una tarea compleja que no harían, para ello está el lector óptico en la máquina, entonces retirar el lector óptico seria la perdida de ese nicho de mercado, sin embargo, se podría hablar de la integración al controlador del lector óptico de la capacidad de un CNC”

En una posterior reunión, se llegó a un acuerdo entre las dos partes, en la cual se determinó que necesitaban una integración al controlador del lector óptico de la capacidad CNC. Sin embargo, se decide primero realizar una entrevista con expertos de la materia para identificar la viabilidad de esas necesidades, además de consultar a diferentes proveedores.

El proceso inicia con la comunicación entre diferentes fabricantes de sistemas de máquinas de corte que habían tratado el HL-90, sus consideraciones aparecen a continuación:

- Linatrol System Inc. (Canada): Fabricante del controlador HL-90.

"I have attached the components and the cost to add a PicoPath to your HL90"

John Murray
Linatrol Systems Inc." ---- jhon@linatrol.com

En este correo y durante otras comunicaciones con la empresa, informan que ellos ofrecían la integración entre el controlador HL – 90 y un CNC, especialmente diseñado por ellos para este propósito. Con la premisa que en caso de falla de alguno de los dos sistemas, dejaría de funcionar todo el sistema.

- Lincoln Electric Company. Empresa que trabajo la integración con el modelo Burny 2.5 Plus y es actualmente fabricante de mesas de corte para plasma.

"No fabricamos más el Burny 2.5. Tienes que hacer un retrofit completo y desechar el optical tracer." - Jose_Rodriguez@lincolnelectric.com

"No tenemos ningún interface con el HL-90 actualmente. Esa es tecnología muy vieja que ya desechamos desde hace mucho."

Jose Y. Rodriguez
Senior Regional Sales Manager

The Lincoln Electric Company

Office: +1 843.695.4057

Cell: +1 843.714.5679

Fax: +1 843.695.4001

Email: jose_rodriguez@lincolnelectric.com

4130 Carolina Commerce Parkway | Ladson, SC | 29456 | U.S.A.

- Torchmate. Fabricante de mesas de corte.

"Los controladores de lector óptico están descontinuados, en cuanto a CNC tenemos controladores que pueden ser adaptados a mesas de corte." - andres@torchmate.com

ANDRES RODRIGUEZ R.
Latin America Sales Manager
Andres@Torchmate.com
www.torchmate.com
+1 7756249029
+57 13648800 Ext.215

- Hyperthem. Fabricante de mesas de corte

“En teoría es viable hacer el retrofit del pantógrafo, pero la opción de seguimiento óptico quedaría eliminada y se trabajaría por archivos CAM es decir 100% control numérico.”

Francisco Murcia S.

Geo Sales Manager Northern South America, C.A & Caribbean

Hypertherm Inc.

Colombia: +57 1 3819206 ext 6231

Venezuela: + 58 212 3357522 ext 6231

Peru: +51 1 718-5090 ext 6231

Mobile: +57 310 2705402

Mail To: Francisco.murcia@hypertherm.com

www.hypertherm.com

- Groupco. Representante de Linatrol en Colombia.

Conozco muy bien el equipo de corte Auto 60 de Victor (Thermadyne) equipado con lector óptico HL 90, este es un equipo muy bueno, que siempre ha prestado muy buen servicio de corte de piezas especiales en chapa metálica. HL 90 fue un éxito rotundo hace 20 años en la industria metalmecánica. Hoy por hoy el corte ha migrado fuertemente a las aplicaciones con Control Numérico Computarizado, conocido como CNC, ya que los computadores y la programación permiten ampliar muchísimo los alcances de los procesos de corte y traen muchísimas ventajas.

El HL 90 se puede actualizar con un CNC que lo suministra Linatrol de Canada (somos representantes de ellos), llamado Picopath. Este es un dispositivo CNC que se acopla al lector óptico logrando así convertirlo a máquina controlada por computador. Pero al considerar esta opción, no solamente hay que adicionar el CNC y adaptarlo a la maquina actual sino también se deben comprar las estaciones de corte motorizadas que entran en conexión y control desde el CNC, los sensores de altura de las antorchas, la caja de interface que relaciona todas las señales de control y además la mano de obra especializada que debe realizar este trabajo.

El costo total de todo esto es bastante alto (entre 40 y 50 millones de pesos).

Le menciono esto, porque hoy en día, ya no es una práctica común actualizar un HL 90 a CNC, no solo por el costo, sino porque además es colocarle un sistema nuevo a una máquina que ya tiene muchos años de uso y presenta desgastes normales, el sistema CNC ofrece exactitud y precisión y esto se anula colocándolo en una máquina que mecánicamente ya no es precisa ni exacta.

Es mi recomendación técnica muy profesional, que sin desechar la maquina Auto 60 que tiene (y que es muy buena) con la cual puede seguir cortando piezas especiales y puntuales (por aquello de las plantillas de papel) y haciendo una inversión de repente menor que aquella en la que está pensando, entre en el campo del corte CNC programable, con una maquina nueva que le ofrezca muchas posibilidades de tecnificación y productividad.

JORGE ERNESTO PARAMO MADERO
gerenciagropco@gmail.com
Ingeniero Mecánico
GROPCO Ltda
Director

Los operarios expresan que ellos eran estudiante del SENA y tenían un profesor en el sector automatización que manifestó tener una posibilidad frente a este tema, a lo cual con esta primera perspectiva pase a las entrevistas con otros expertos en la materia, sus recomendaciones resultaron ser las siguientes:

- Seguir involucrando el Lector óptico en una solución, involucra seguir trabajando con un controlador que se estimó ya llegó a su vida útil.
- Teniendo la información del controlador, ayudaría a conocer su funcionamiento en cuanto a sistema de control utilizado y tecnología, pero volverían al mismo camino de ajustarse a una tecnología obsoleta, sin mano de obra especializada que la trate a nivel nacional o local, además de imposibilidad de encontrar los repuestos, sin garantía ante alguna falla y/o avería del sistema.
- Una cosa es integrar al controlador HL-90 un sistema CNC, es decir que estos sean dependiente, que uno se dañó y el otro así no pueda funcionar. Otra cosa muy distinta es que se trabaje el equipo por dos caminos: Por el HL-90 o por un CNC. Esta segunda vista es más recomendable en cuanto al requerimiento del cliente.
- La razón de mantener el controlador por el nicho de mercado que manejan, no es una razón que obligue a seguir trabajando con ese controlador, existe el concepto de vectorización de imágenes, esto es tomar una foto, en caso de que traigan las piezas sin medidas, y pasarlas al software y este se encarga de pasar al CNC.
- El camino en el cual hoy en día se trabaja en ese tipo de proyectos es buscar una repotenciación de la máquina.

- Actualmente en mesas de corte se trabaja con CNC, además existen soluciones en las cuales ya no es necesario trabajar con la vieja consola CNC, ya existe software CNC, lo que abarata mucho la repotenciación.
- Es recomendable mirar la posibilidad si se puede hacer algo con el sistema mecánico porque una tolerancia de 2 – 3 mm es demasiado para las necesidades actuales.

En pocas palabras, seguir con las necesidades del cliente involucraba brindar un diseño sin garantía alguna y con más contras que pro.

En una posterior reunión se presentaron, al gerente, los inconvenientes que involucraban sus necesidades y debido a esto se concertó y se llegó a la idea general: “Estoy abierto a las propuestas que me puedan brindar, ya sea incluyendo el lector óptico o no”.

Con este proceso de refinamiento de las necesidades se presenta en el siguiente ítem las necesidades manifestadas por el cliente.

9.2 LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE

Las necesidades del cliente son el paso inicial hacia la implementación de la metodología de diseño concurrente, este primer paso alimenta a una serie de etapas que permitirá generar propuestas de solución ante estas necesidades, así que también hay que discernir entre lo muy importante, importante y ligeramente importante entre las necesidades, con el objeto de priorizar, esto resalta más con la escala que a continuación se presenta:

Tabla 8. Escala de calificación

5	Extremadamente importante
4	Muy Importante
3	Importante
2	Ligeramente importante
1	Sin importancia

A continuación se evalúa las necesidades con la anterior escala.

Tabla 9. Planteamiento de las necesidades.

Numero	Planteamiento de la Necesidad		Imp.
1	La maquina	No produce vibración	5
2	La maquina	Es segura para el operario en su operación	5
3	El sistema	Trabaja con repuestos de fácil consecución a nivel nacional y/o local.	3
4	El sistema	Dispone de alertas y alarmas	3
5	El sistema	Es de Fácil mantenimiento	2
6	El sistema	Aumenta la velocidad de corte actual de la máquina.	3
7	El sistema	Es de fácil instalación	2
8	El sistema	Indica la terminación del corte	2
9	La maquina	En su operación no produce ruido excesivo	3
10	El sistema	Utiliza voltajes de alimentación de la empresa	5
11	El sistema	Es económico	3
12	El sistema	Reduce el desperdicio de material.	5
13	El sistema	Tiene servicio postventa de los elementos que se requieran.	3
14	El sistema	Dispone de Protecciones Eléctricas.	5
15	El sistema	Dispone de la posibilidad de interviene en su funcionamiento en caso de fallas y/o colisiones inesperadas.	3
16	El sistema	Es compatible con el HL – 90.	2
17	El sistema	Lee, interpreta y trabaja con los archivos generados de software CAD/CAM para realizar acciones en la máquina para el corte.	5
18	HMI	Amigable para la operación de la máquina.	2
19	El software	Es de fácil operación.	2

Las razones de los parámetros con mayor importancia son:

- La máquina no produce vibración: La vibración es un peligro para la máquina y el propio operario, ya que se puede dañar componentes mecánicos. Esta necesidad significa que la vibración durante el corte daría una pieza con carencia de calidad y presentación, que no es admisible en la industria.
- La máquina es segura en su operación: Cuando la maquina está en funcionamiento debe prevalecer la seguridad del personal.
- El sistema trabaja en el ambiente industrial: Alrededor del proceso de corte se produce demasiadas partículas de polvo metálico, así esta necesidad toma en cuenta la protección físicas de los equipos que involucren las propuestas.
- El sistema dispone de alerta y alarmas: se desea que se advierte acerca de alguna situación anómala y se de alerta de ello, debido a que se trabaja con gases combustibles peligrosos.
- El sistema opera bajo las condiciones de oxicorte y plasma: Esta es quizás una necesidad a la que se le debe prestar atención en el proceso de diseño. El pantógrafo se puede considerar una mesa XY en su estructura. Sin embargo, el proceso que lleva el oxicorte y plasma consiste en esperar a que la lámina de corte, primero se oxide y seguir con los procesos mencionados en apartados anteriores, eso involucra adaptar las propuestas de solución a estas situaciones.
- El sistema asegura trabajar con las limitaciones dimensionales de la maquina: La longitud de la cremallera es 5 m en el carro inferior, pero la posibilidad de desplazamiento se debe limitar a distancias de 4.5 m. Mientras que la longitud de la cremallera superior es 1.6 m y se debe limitar a un desplazamiento de 1.4 m
- Aprovechar al máximo la exactitud mecánica de la maquina: La máquina no puede dar más exactitud de la cual tiene actualmente con el sistema mecánico (2 – 3 mm).
- El sistema reduce el desperdicio de material: Se busca el máximo aprovechamiento del material en la lámina de corte.
- El sistema dispone de protecciones eléctricas: Esto es seguridad ante eventualidades de cortocircuito, sobrecarga, sobrecorriente, etc.
- El sistema mantiene la maquina actual: El cliente desea mantener toda la estructura mecánica de la maquina intacta.

- El sistema lee, interpreta y trabaja con los archivos generados de software CAD/CAM para realizar acciones en la máquina para el corte: Es la esencia de los deseos del cliente desde un principio y el alma del proyecto.

9.3 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS, MÉTRICAS Y UNIDADES.

Con la definición de las necesidades por parte del cliente, ahora se pasa a hacer una traducción de esas necesidades a especificaciones técnicas entendibles desde el punto de vista en ingeniería, esto determinara los requerimientos, y estos estarán acompañados de métricas que permiten definir unidades de medida que van a permitir medir esas necesidades. La agrupación de necesidades en una especificación técnica única no significa en ningún momento que sean necesidades iguales.

Tabla 10. Requerimientos

Ítem	Requerimiento	IMP	Medida	Unidad de Medida
4,8,10,12,15,17,18	Proceso automático	5	% del proceso Automático	%
1,2,4,9,14,15	Seguridad Industrial	5	Binario	Cumple No Cumple
1,6	Velocidad lineal	2	Velocidad lineal	mm/min
5,7	Fácil instalación y mantenimiento	1	Tiempo	Horas
11	Costo	2	Dinero a invertir	
4,8,9,17,18,19	Software y HMI	3	Subjetiva	Subjetiva
16	Compatibilidad con el HL -90	2	Binario	Cumple No cumple
3,5,7,13,	Disponibilidad repuestos y servicio postventa	3	Subjetiva	Subjetiva

9.4 BENCHMARKING - (EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS COMPETIDORES)

La Evaluación de los productos competidores se hace con el objeto de determinar y comparar las características de esos productos y/o propuestas, que atienden la problemática para que en el QFD se pueda cuantificar que tanto suplen las necesidades presentadas por el cliente.

En este caso se considera como productos competidores aquellas soluciones diseñadas especialmente para la repotenciación de mesas de corte especializadas en plasma u oxicorte debido a las características del proyecto, de esta forma se ha podido determinar características puntuales que involucran sus propuestas y se presentan a continuación:

- Solución Linatrol System Inc. Ampla descripción en el ítem 5.3.1
- Hyperthem: es una compañía con base en New Hampshire que diseña y fabrica sistemas avanzados de corte por plasma y por láser de fibra óptica. El Edge Pro es el CNC especialmente dedicado para el corte por plasma. El conjunto de componentes para hacer la repotenciación se presenta en la figura 72. A este conjunto se denomina Edge Pro Ti.



➤ Descripción

El EDGE Pro Ti fue diseñado con mandos servomotores integrados y diferentes opciones de interfaz de control de altura de la antorcha para hacer más fácil su

instalación. El hardware y el software de conjunto facultan al operador a hacer todo el tiempo un corte óptimo, aumentando de este modo la productividad y rentabilidad. Todos los CNC de esta empresa, utilizan el software Phoenix™ que les permite operar uniformemente y se puede configurar para apoyar las necesidades específicas de cada cliente. Tanto si la aplicación requiere corte por plasma, como oxicorte, biselado o corte láser, lo normal es la repetitividad las 24 horas, los 7 días de la semana. Además se ofrece la adición del control de altura para la antorcha.

Figura 72. Kit Solucion retrofit Hypertherm



Fuente. Edge Pro It. [En línea] hypertherm [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en internet: http://www.hypertherm.com/es/Products/Automated_cutting/Controls/Computer_numeric_controls/edgeProTi.jsp

Esta es la solución que en mayor proporción ofrecen las empresas dedicadas a la fabricación de mesas de corte por plasma y laser, por lo que diferir con el nombre de las empresas no aporta elementos valiosos en el QFD, pero si es valioso encerrar esta solución en función de sus características técnicas.

9.5 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

El objetivo del QFD es determinar los requerimientos y métricas más importantes que se deben tener en cuenta para el proyecto, es decir, priorizar para enfocar los esfuerzos de diseño en esas áreas adecuadas y que por ende permitirán medir en mayor grado si las propuestas presentadas dan respuesta a las necesidades del cliente para determinar el alcance de los objetivos que tuvo el proyecto.

Para la evaluación en la matriz de relaciones se maneja una escala cuadrática (1-3-9) para realzar las más importantes. Finalmente, en la figura 73, se presenta la construcción de la matriz QFD.

9.5.1 Análisis del QFD

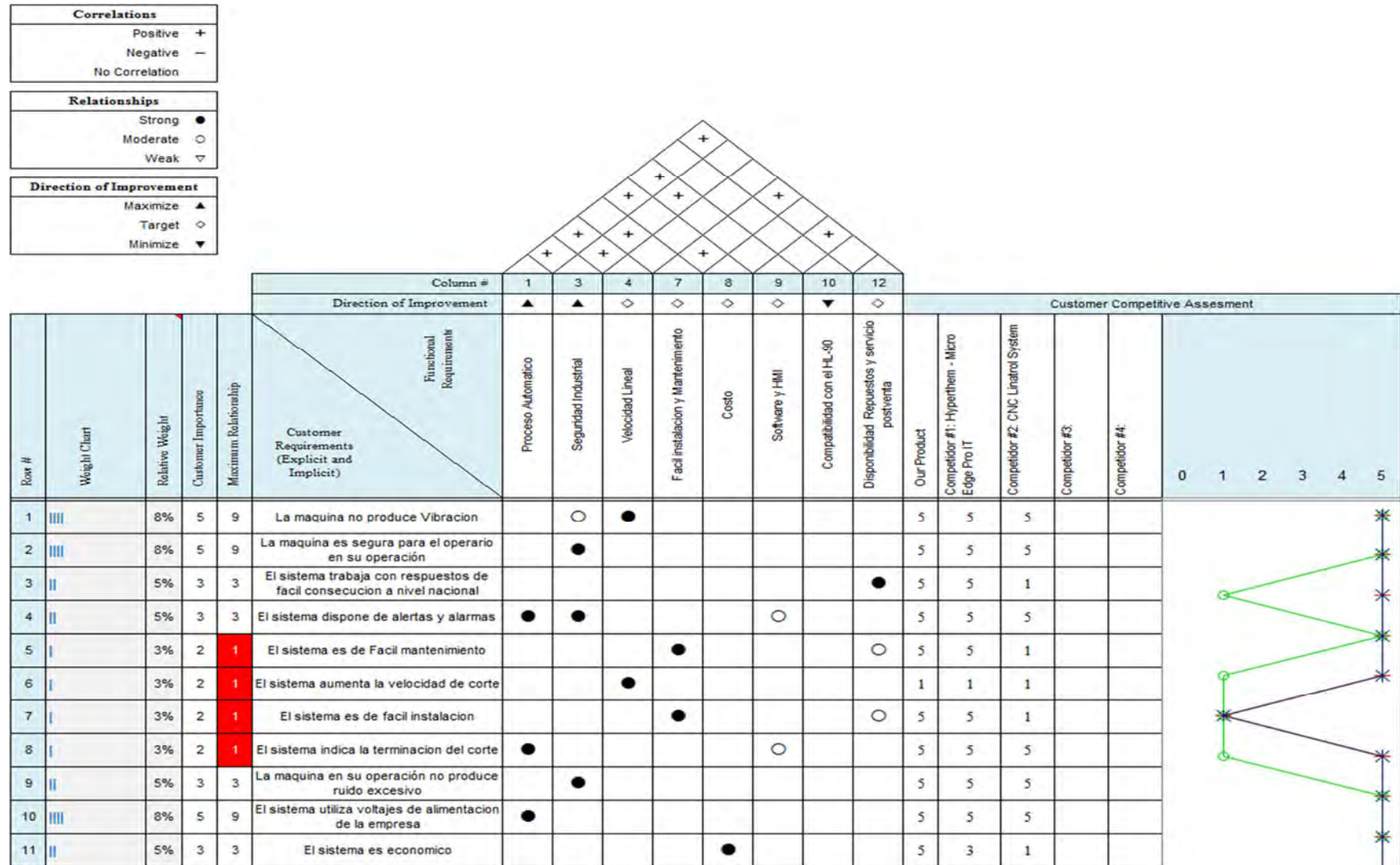
Las especificaciones técnicas con mayor importancia resultan ser:

- 26 % - Proceso Automático: Prioridad 1
- 24 % - Seguridad Industrial: Prioridad 2
- 20 % - Software y HMI: Prioridad 3
- 9 % - Velocidad Lineal: Prioridad 4
- 9 % - Disponibilidad Repuestos y servicio postventa: Prioridad 5

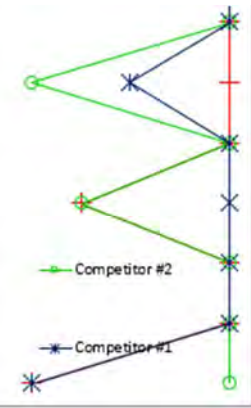
Esto indica la estrecha relación entre el Hardware – Software en el proyecto, además de la importancia en el momento en el cual entre a operación la máquina, está cuenta con parámetros de seguridad para el personal y la propia máquina.

Estos resultados permiten enfocar los esfuerzos en el diseño en ciertos requerimientos teniendo en cuenta las premisas y restricciones para satisfacer las necesidades del cliente. El paso a continuación consiste en la generación de conceptos.

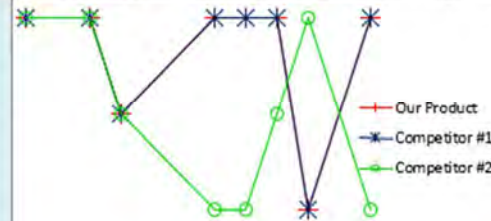
Figura 73. Matriz QFD del proyecto



12		8%	5	9	El sistema reduce desperdicio de material	○					●			5	5	5		
13		5%	3	3	Existe servicio postventa de los elementos que se requieran							●		2	5	2		
14		8%	5	9	El sistema dispone de protecciones electricas		●							5	5	5		
15		5%	3	3	El sistema dispone de posibilidad de intervencion ante fallas y/o colisiones	●	○							5	5	5		
16		3%	2	1	El sistema es compatible con el HL-90						●			1	1	5		
17		8%	5	9	Lee, interpreta y trabaja con los archivos generados de software CAD/CAM	●					●			5	5	5		
18		3%	2	1	HMI amigable para la operación de la maquina	○					●			5	5	3		
19		3%	2	1	El software es de facil operación						●			5	5	3		



Technical Competitive Assessment	Max Relationship	9	9	9	9	9	9	9	9
	Technical Importance Rating	295,2	271	101,6	58,06	43,55	227,4	29,03	106,5
	Relative Weight	26%	24%	9%	5%	4%	20%	3%	9%
	Weight Chart				==	—		—	
	Our Product	5	5	3	5	5	5	1	5
	Competitor #1: Hyperthem - Micro Edge Pro IT	5	5	3	5	5	5	1	5
	Competitor #2: CNC Linatrol System	5	5	3	1	1	3	5	1
	Competitor #3: Product Name								
	Competitor #4: Product Name								



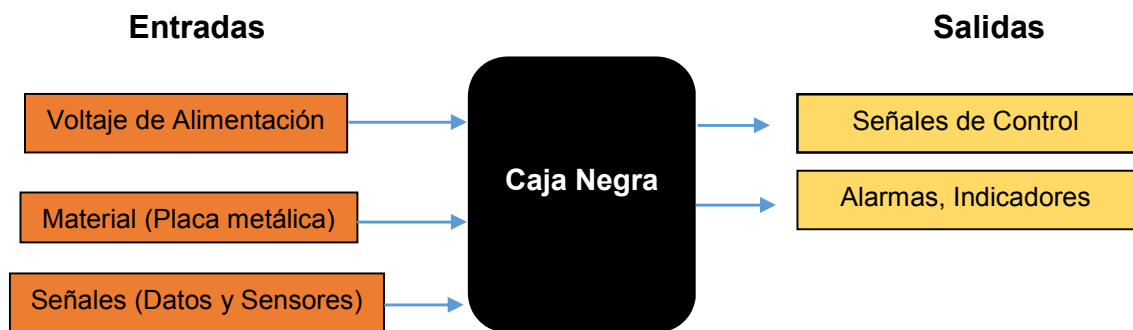
Los resultados con respecto al benchmarking sirven para evaluación de las propuestas a desarrollar vs una propuesta que sirva de competencia. De igual forma esta ayudo a tomar en cuenta necesidades que no se tenían en cuenta en un principio, además se define el producto de la competencia que mayor satisface la necesidad del cliente y esto tendrá utilidad en el concepto de referencia de las matrices de tamizaje en la sección “Selección del concepto”.

10. GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS

10.1 Caja Negra.

Se presenta a continuación la caja negra donde se determina las entradas y salidas que va a tener el sistema del sistema.

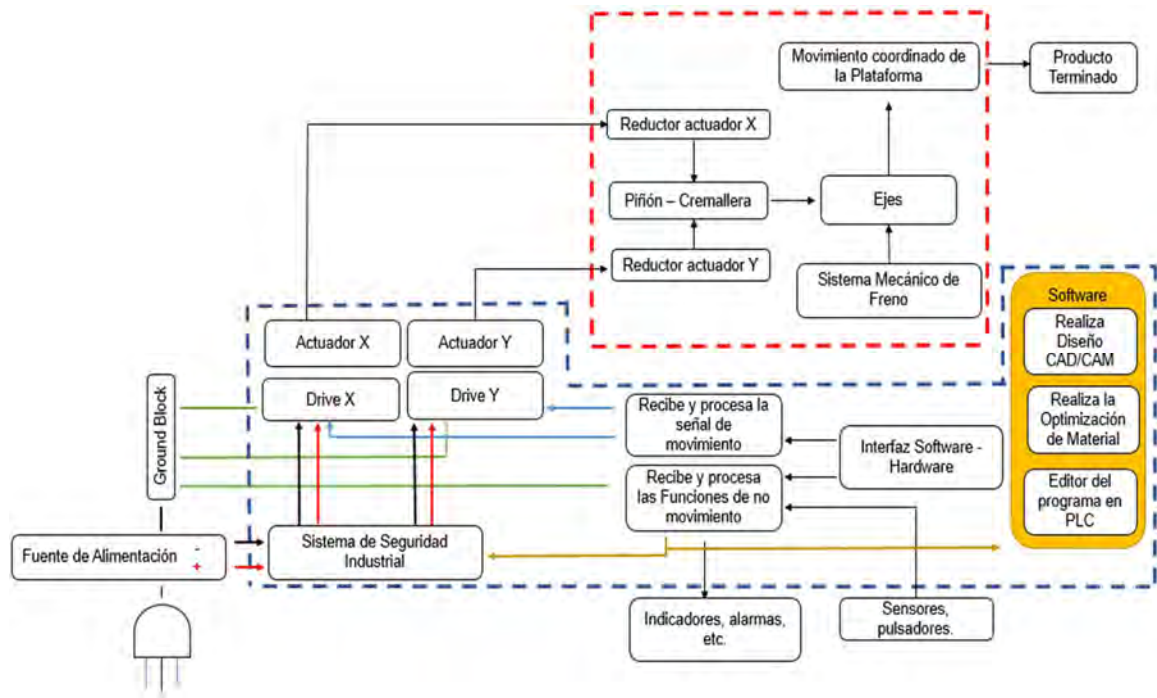
Figura 74. Caja Negra



10.2 Descomposición Funcional.

A continuación se presenta la descomposición funcional del sistema, la cual consiste en bloques de acciones que se deben cumplir para el objetivo final del sistema diseñado.

Figura 75. Descomposición Funcional



10.2.1 Descripción de los bloques de la descomposición funcional. El interior del recuadro azul, ver figura 75, consiste a la descomposición funcional de la caja negra presentada en la figura 74. Inicialmente se da el proceso de diseño conceptual de la pieza (CAD) y a continuación se determina las instrucciones de movimiento (CAM) para obtener la pieza virtualmente con la condición de trabajar con plasma u oxicorte, y a continuación pasarlo a un software que tiene el objeto de optimizar el material a cortar de esta pieza virtualmente generada.

Los elementos encerrados en rojo corresponden directamente al sistema mecánico que tiene la máquina y se presentan con el objeto de determinar su relación con la serie de bloques funcionales del recuadro azul.

10.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

La generación de conceptos se da a partir de las subfunciones identificadas en la descomposición funcional, estas se presentan a continuación:

- **Creación del Diseño CAD/CAM:** Esta subfunción es la encargada de desarrollar por medio de software el diseño conceptual de la pieza y apoyarse en un software CAM para traducir las instrucciones de movimiento, haciendo uso del estándar ISO 6983 para crear el G-Code.

Creación del Diseño CAD/CAM	Solidworks. Modulo CAM: HSMWorks
	MasterCam
	Autocad
	BobCam
	Lantek

- **Realizar la Optimización del Material:** Esta función es muy importante para el corte de múltiples piezas, así se puede determinar la disposición de éstas en el material con el objeto de optimizar el uso de este. Esto se hace directamente en software CAD/CAM
- **Editor del Programa en PLC:** Esta función está encargada de supervisar las funciones de no movimiento, la programación se hace través de M-code, y el programa se crea con el objeto de comunicar el controlador con pulsadores y sensores, para ejercer una acción de control en el sistema ante determinadas circunstancias. Esto se hace por software.
- **Interfaz entre software y hardware:** Esta subfunción es de vital importancia debido a que se hace necesario establecer comunicación entre el software y el hardware con el objeto de poder manipular la máquina. Se utilizan comunicación haciendo uso de RS232, RS435, Puerto paralelo, Ethernet.
- **Recibe y procesa las instrucciones de movimiento:** Esta subfunción es la que toma las instrucciones de movimientos generadas en el G-code, para pasar a su interpretación en señales eléctricas.

Controlador CNC	Controlador basado en PC
	Controlador basado en Consola de mando Física
	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con el Lector óptico • No compatible con lector óptico

- **Recibe y procesa las instrucciones de NO movimiento:** Esta subfunción es la encargada de tomar las instrucciones de NO movimientos generadas en el M-code, para hacer su traducción y ejercer su tarea de supervisor del medio exterior con ayuda a la conexión de sensores que permitan interpretar lo que sucede en la periferia del sistema general.

- **Adecuar la señal de control:** Esta subfunción corresponde a los drives que reciben la señal del controlador y la adecuan con los valores óptimos para el apto funcionamiento del actuador. Es dependiente del tipo de actuador utilizado.
- **Conversión energía eléctrica en energía mecánica:** Esta subfunción se encarga de convertir la energía eléctrica en movimiento. Es importante determinar el lazo de control para establecer los elementos a utilizar como actuador eléctrico.
- **Sistema de seguridad industrial:** Esta subfunción involucra los sistemas destinados a la protección del operario y la propia máquina y trabaja de la mano con las funciones de no movimiento. Estos involucran protecciones eléctricas del tipo: protección contra cortocircuito en las salidas de motor, protección contra polaridad inversa de suministro de energía, la protección contra sobretensión y baja tensión. Mientras que los finales de carrera pueden determinar los límites físicos de la máquina. También se dotan de pulsadores de emergencia y marcha.
- **Indicadores y alarmas:** Esta subfunción es la encargada de alertar al operario en caso de alguna falla en el sistema.

Acústica	Sirena - Zumbador
Visual	Luz intermitente - Luz fija
Audiovisual	Mezcla las características de las dos anteriores.

- **Bloqueo y desbloqueo del paso de combustible.** Esta subfunción corresponde a limitar el paso de combustible. Se hace uso actualmente de una válvula solenoide.
- **Fuente de alimentación:** Esta subfunción corresponde a la fuente de alimentación que se dará a los circuitos de entrada, de control y salida, actuadores, al igual que los periféricos necesarios para la correcta implementación de la automatización.

10.4 COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

La combinación de conceptos permite determinar que posibles caminos se pueden tomar, con el objeto de identificar las soluciones que atienden las necesidades y especificaciones del cliente. Adicionalmente permite observar la interacción de las diferentes funciones que integran el sistema y sus respectivos objetivos en esté. La combinación arrojará alternativas que en un apartado posterior se evaluarán en una matriz de tamizaje especificada en función de las necesidades del cliente.

Tabla 11. Tabla para combinación de conceptos

Realizar Diseño CAD/CAM	Realizar la Optimización de Material	Programación PLC	Realizar interfaz software - Hardware	Recibe y procesa Señales de movimiento y NO movimiento	Adecuar señales de control	Conversión energía eléctrica en energía mecánica
Software Licenciado	Software Licenciado	Software Licenciado		Controlador CNC basado en PC	Drive AC	Actuador Eléctrico AC
			Breakout board	Controlador CNC compatible con lector óptico	Drive DC	Motor Eléctrico DC
				Controlador CNC no compatible con lector óptico		
Reducción de riesgos	Fuente de alimentación	Indicadores y alarmas				
Sensores con contacto	AC / DC	Visual				
Sensores Sin contacto		Audio				
		Audio-Visual				

➤ Concepto A.

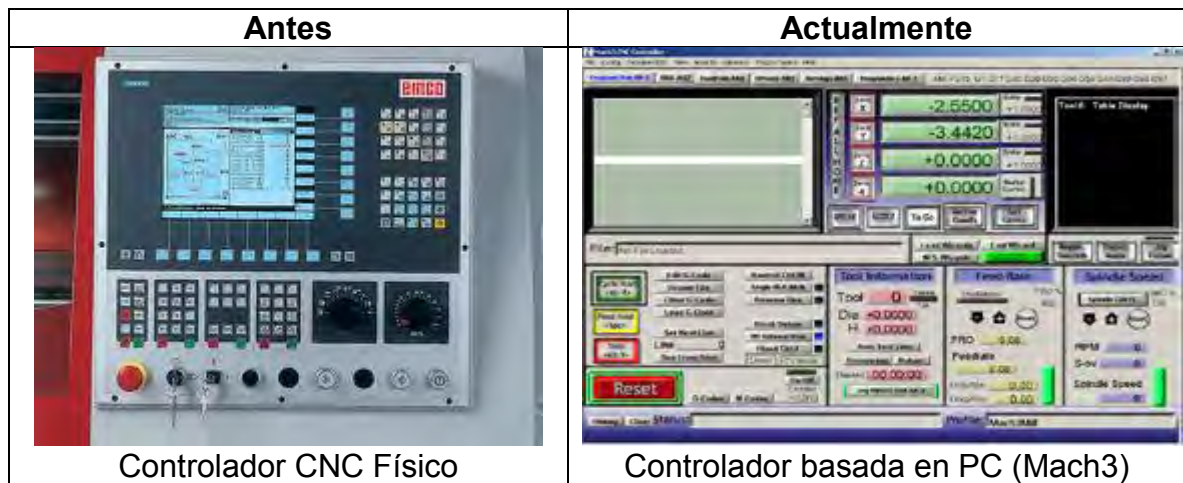
Fuente AC/DC + Controlador CNC basado en PC + Interfaz Hardware/Software + Drive + Actuadores Nuevos + Sensores de Contacto + Alarma.

El concepto A involucra la desaparición de lector óptico y su controlador HL-90, al igual que sus actuadores. Este concepto involucra una repotenciación de la maquina haciendo uso de CNC controller software denominado Mach3, el cual ha sido ampliamente utilizado en la industria para la repotenciación de sistemas XYZ y ha abaratado este proceso. El software necesita recibir un archivo compuesto de G-code y M-code, propios para control numérico, con estos códigos, el software lo traduce en ordenes que son enviadas a una Breakout board; es una placa electrónica que enruta las señales de control provenientes del software hacia el drive correspondiente y hace de interfaz entre el puerto de comunicación paralelo de la PC y el hardware de la periferia, además cumple con la función de proteger la placa madre del PC en caso de fallos eléctricos. El software Mach3 envía una señal al amplificador de señal (Drive), que es el encargado de adecuar la señal para el correcto funcionamiento del actuador. Ya terminada esta instrucción, el controlador por software (mach3) continua con la siguiente línea de código, y así se la pasa enviando datos de control secuenciales por el puerto seleccionado.

La breakout board también tiene la función de comunicar la periferia con el proceso, esto es recibir entradas digitales de sensores mecánicos (finales de carrera mecánico, pulsadores de Emergencia, Pulsador de marcha) y también envía señales digitales, en función del programa que se le cargue para activar alarmas de tipo digital. Además se debe tener en cuenta que una o varias fuente de alimentación AC/DC, alimentan tanto los elementos de la periferia como a los drives de los motores.

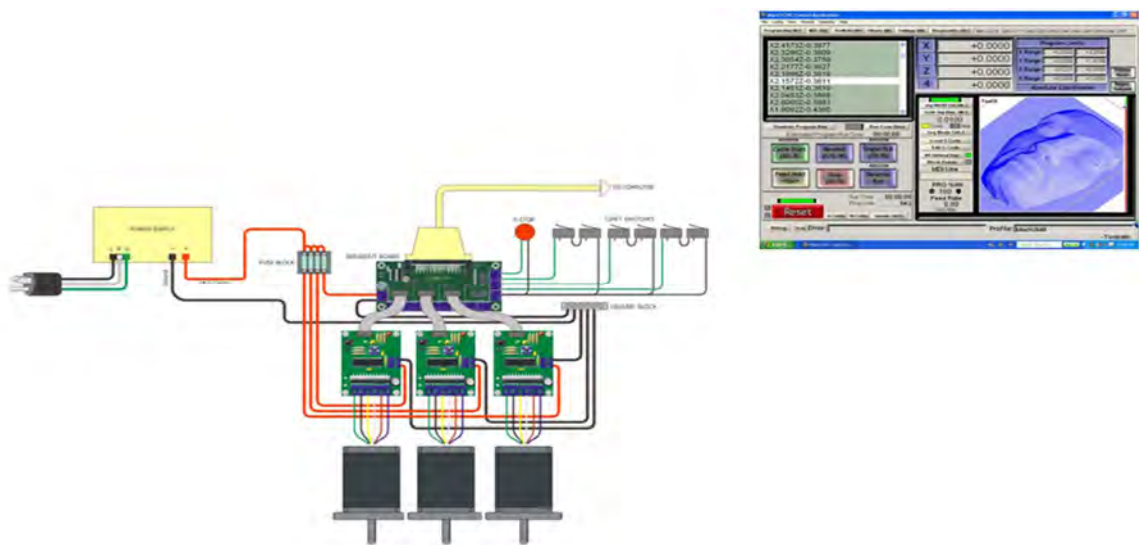
Lo que diferencia este concepto es que no se hace uso de un hardware denominado “controlador de movimiento” físico para enviar las señales de control sino que se envían las señales de control desde un software.

Figura 76. CNC hace algunos años vs CNC basado en PC



Fuente. Software And CNC Package Improves Production By 15 Percent. [En línea] productionmachining [Consultada en enero de 2015]. Disponible en Internet: <http://goo.gl/5t3PE4>. (Izq) Interfaz Mach3. [En línea][Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en internet: <http://goo.gl/WDV2Xq>(der)

Figura 77. Representación del Concepto A



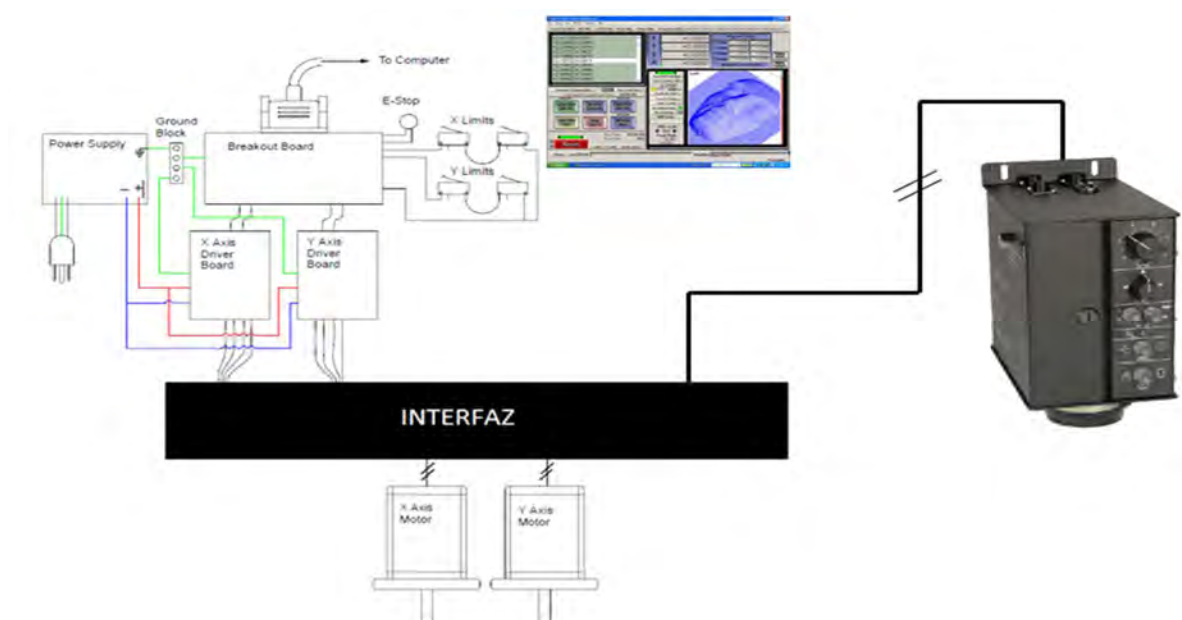
➤ **Concepto B.**

Fuente AC/DC + Controlador CNC basado en PC + Interfaz Hardware/Software + Drive + Actuadores Nuevos + Sistema Actual + Sensores + Alarma.

Este concepto tiene en cuenta que el lector óptico, su controlador y los motores actuales se mantengan en el sistema. Pero también tiene en cuenta que se implemente el controlador basado en PC. Este concepto se basa en una interfaz entre los actuadores y los dos sistemas. Esto es que si está trabajando con el controlador basado en PC, la señal que le llegue al actuador sea por parte de este camino y deshabilite la señal del drive que enviaría el HL-90. De forma similar, que si se está trabajando con el lector óptico, la señal que le llegue al actuador sea correspondiente al drive que trae el controlador HL-90 en su placa interna, y que la interfaz deshabilite la salida del controlador basado en PC.

Se debe decidir cuál de los dos sistemas pueden gestionar paros de emergencia y alarmas.

Figura 78. Representación del Concepto B



➤ Concepto C.

Fuente AC/DC + Controlador CNC basado en PC + Interfaz Hardware/Software + Drive + Actuadores Nuevos + Sistema Actual (Lector óptico – Controlador HL-90 + Motores actuales)

La máquina cuenta con los dos sistemas. El lector óptico trabaja por aparte del controlador CNC basado en PC. Para ello, en la máquina se tendrán un total de 4 motores, cada par de motores se maneja por el controlador destinado. Este concepto consiste en repotenciar la máquina con el concepto A completo y mantener el sistema actual. Para ello se debe insertar los nuevos motores eléctricos del sistema A, en un espacio diferente al que ocupa el motor actual de la máquina que hace uso del sistema tradicional. Esto significa que se hace necesario modificar la estructura mecánica de tal manera que se pueda construir el mismo sistema de engrane-desengrane que acompañan los motores actuales pero en esta ocasión para los motores del concepto A, en ambos ejes de la máquina. Además mecánicamente se debe construir de tal forma que un sistema no intervenga con el otro, esto es que si se está funcionando con el sistema tradicional los motores del concepto A, deben estar desengranados del sistema cremallera-piñón, así de igual forma si se desea trabajar con el concepto A, se debe desengranar los motores del sistema tradicional. También es indispensable contar con una palanca general para desengranar los dos sistemas, tanto el basado en PC como el actual, con el objeto de permitir el libre movimiento de los ejes.

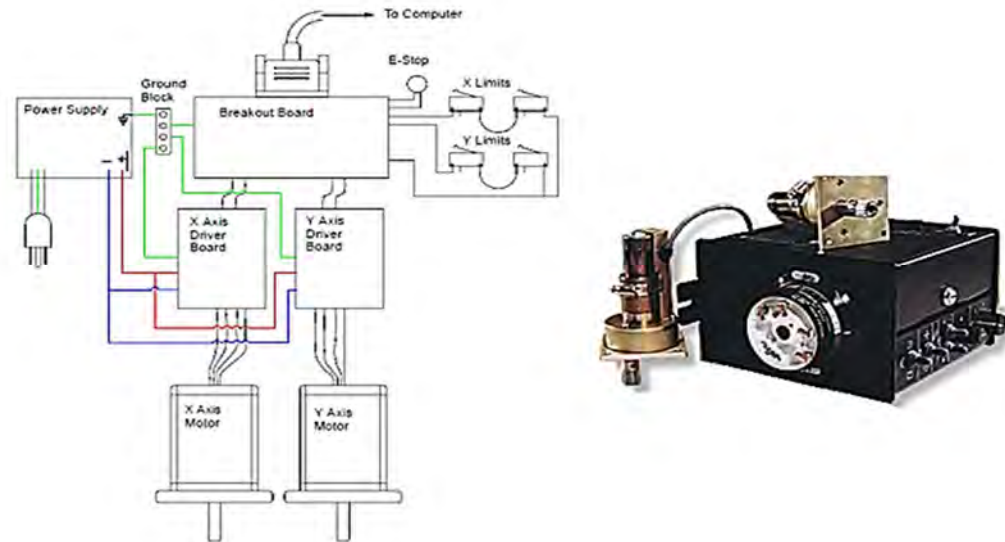
Así cuando se esté utilizando el concepto A, el controlador HL-90 se utilizaría para activar/desactivar la válvula solenoide que deja pasar más oxígeno a la proporción correcta de oxígeno y gas propano al soplete destinado para el oxicorte. Esto sería para lo único que serviría en este momento el controlador HL-90, mientras que el concepto A realiza el movimiento combinado de los ejes, ya que los motores del sistema del lector óptico estarían desengranados.

De igual forma sucede cuando se haría uso del sistema tradicional, el concepto A no interviene sino en las rutinas de control del sistema de seguridad, esto es estar vigilando los finales de carrera que corresponden a los límites mecánicos de la máquina. Entonces aquí los motores del sistema actual estarían engranados mientras que los motores del concepto A, estarían desengranados.

Este concepto tiene la limitante que se debe modificar la estructura mecánica de la máquina, apartándose del concepto del retrofit de igual forma es una posibilidad

que puede abarcar una posible solución al problema a tratar sin atender las restricciones.

Figura 79. Representación del Concepto C



➤ **Concepto D.**

Sistema Actual + Fuente AC/DC + Controlador CNC + Interfaz PG/PC + Tarjeta de movimiento + Drive + Actuadores Nuevos

Este concepto busca mantener el lector óptico + el controlador HL-90 + los motores actuales, y pretende integrar un controlador CNC al lector óptico, de tal manera que el CNC trabaje conjuntamente con el lector óptico. Este concepto es el ofrecido por el fabricante del controlador del HL-90. Básicamente es adaptar al lector óptico el CNC y se presenta en la figura 55B, en apartados anteriores.

De acuerdo a las comunicaciones hechas con el departamento de ventas de la empresa Linatrol, se hace necesario los elementos descritos en el la tabla 3.

Actualmente, se cuenta con soporte técnico por parte de la empresa con sede en Canadá, tanto para el controlador HL-90 como para la implementación del CNC a la máquina.

10.5 SELECCIÓN DEL CONCEPTO

En una primera etapa de este proceso se determinan los criterios de evaluación y referencia con los cuales se van a comparar los diferentes conceptos generados, a continuación, se necesita aceptar y descartar algunos conceptos y esto se hace con una primer matriz de tamizaje, posteriormente los conceptos aceptados pasan a una matriz de evaluación con la cual se tiene mayor sensibilidad al tener una escala numérica, con el cual se busca encontrar el mejor concepto a desarrollar para suplir las demandas del cliente. Este será el concepto al cual se le refinara en la etapa de diseño detallado con lo cual permitirá estructurar la propuesta a la problemática planteada en el proyecto.

Selección de los criterios de evaluación y el criterio de referencia. Los criterios están basado en los requerimientos del cliente.

Tabla 12. Criterios para la selección de concepto

N°	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE CONCEPTOS
1	Proceso automático
2	Seguridad Industrial
3	Velocidad lineal
4	Fácil instalación y mantenimiento
5	Costo
6	Software y HMI
7	Adaptable con la tecnología del copiador HL-90
8	Disponibilidad de repuestos y servicio postventa

10.5.1 Criterio de referencia. En el QFD se evaluó los productos del benchmarking, con esta técnica se tiene por objetivo determinar las características que un producto competitivo tiene y en función de esto, se mide el grado en que supliría las necesidades del cliente. El concepto de referencia será el que involucra la repotenciación a partir de la consola de mando que trae inmersa en un mando físico el CNC. Esto es que traigan el NC, el PLC y el HMI en una sola consola física que junto a la integración de un drive de movimiento y los actuadores permitan realizar la repotenciación. Este concepto se presenta en la figura 72, de apartados anteriores.

10.5.2 Matriz de Tamizaje. En el proceso que se lleva se tiene hasta el momento varios conceptos, esta matriz sirve para encontrar, en función de unos criterios, los mejores conceptos que atiendan en mayor medida las demandas del cliente, es decir, hace la función de filtrar. Para llevar a cabo este filtrado, se hace la comparación de los diferentes conceptos con un concepto de referencia, asignándoles la siguiente calificación:

- **Igual que:** Brindara una calificación de cero (0), significa que el concepto comparado suple la necesidad y/o requerimiento en igual medida que el concepto de referencia.
- **Mejor que:** Brindara una calificación de positiva (+), significa que el concepto comparado suple la necesidad y/o requerimiento en mayor medida que el concepto de referencia.
- **Peor que:** Brindara una calificación de negativa (-), significa que suple el concepto comparado suple la necesidad y/o requerimiento en menor medida que el concepto de referencia.

Tabla 13. Matriz de Tamizaje

Variantes de Concepto					
Criterios de Selección	A	B	C	D	Ref
Proceso automático	0	0	0	0	0
Seguridad industrial	0	0	0	0	0
Velocidad lineal	0	0	0	0	0
Fácil instalación y mantenimiento	+	-	-	0	0
Costo	+	+	+	0	0
software y HMI	+	-	-	0	0
Adaptable con la tecnología del copiador HL-90	0	+	+	+	0
Disponibilidad de repuestos y servicio postventa	0	-	-	-	0
Positivo	3	2	2	1	
Igual	5	4	4	6	
Negativo	0	2	2	1	
Total	3	0	0	1	
¿Continuar?	SI	NO	NO	NO	

Esta matriz de tamizaje permite observar que el concepto A, debe ser el que se desarrolle para la solución al proyecto. Esto traduce que involucrar el actual controlador HL-90 en uno de los conceptos lo hace inviable en función de los requerimientos del cliente. A continuación se presenta la matriz de evaluación con

el objeto de evaluar por medio de números los conceptos de nuevo y validar el resultado obtenido anteriormente.

10.5.3 Matriz de evaluación. En esta matriz se toman los conceptos filtrados y se realiza una evaluación nuevamente con respecto al concepto de referencia pero difiere de la matriz de tamizaje en que en este paso se va a lograr una mayor diferenciación con una escala numérica que van a permitir diferenciar los conceptos que compiten, es decir va a resultar una mayor sensibilidad que cuando se aplicó la matriz de tamizaje, además se tiene en cuenta la ponderación de los criterios de evaluación están determinados por el QFD que se hizo en apartados anteriores. El concepto con mayor calificación, es el concepto más apto para ser desarrollado, y se puede mejorar o refinar en las siguientes fases de diseño.

Tabla 14. Escala y Matriz para la matriz de evaluación.

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la Referencia	5

Criterio de Selección	% ponderación	A		B		C		D		Referencia
		Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado	
Proceso Automático	26	3	0,78	3	0,78	3	0,78	3	0,78	0
Seguridad Industrial	24	3	0,72	3	0,72	3	0,72	3	0,72	0
Velocidad lineal	9	3	0,27	3	0,27	3	0,27	3	0,27	0
Fácil instalación y mantenimiento	5	5	0,25	1	0,05	1	0,05	3	0,15	0
Costo	4	5	0,20	3	0,12	3	0,12	3	0,12	0
Software y HMI	20	3	0,60	1	0,20	1	0,20	2	0,40	0
Compatibilidad con el HL-90	3	3	0,09	3	0,09	3	0,09	5	0,15	0
Disponibilidad de Repuestos y servicio postventa	9	3	0,27	1	0,09	1	0,09	1	0,09	0
Total		3,18		2,32		2,32		2,68		
Orden		1		4		3		2		
¿Continuar?		SI		NO		NO		NO		

10.6 ARQUITECTURA DEL CONCEPTO SELECCIONADO

En esta etapa se relacionan los elementos físicos con los elementos funcionales del concepto seleccionado, esto se realiza con el objeto de determinar la modularidad en el producto y las diferentes integraciones.

Tabla 15. La arquitectura del concepto modular.

Elementos	Funciones
Fuente AC	Suministrar alimentación a las tarjetas electrónicas, actuadores y a la periferia que tienen que ver con el sistema, esto es sensores y pulsadores.
Software CNC	Controlador CNC basado en PC. Se denomina Mach3 y su función es procesar los datos en código G y M, para poder enviarlos en señales eléctricas al hardware.
Breakout board (interfaz entre hardware y software)	Hacer de interfaz entre el software CNC y los controladores y adecuar las señales a valores óptimos para la comunicación hardware y software en el PC.
Pulsadores, Sensores y alarmas	Hacer parte integral del sistema de seguridad tanto para el operario como para la máquina.
Actuador Eléctrico	Convertir la energía eléctrica entregada por el controlador en energía mecánica.

10.7 PRUEBA DE CONCEPTO

Al seleccionar el concepto, se hace una prueba de conceptos con el propósito de verificar si es susceptible de tener éxito, esto permite disminuir la incertidumbre sobre la aceptación de una propuesta. Esto ayuda también a realizar mejoras pertinentes.

En el evento denominado “la magia de la impresión 3D”, realizado en la Universidad Autónoma de Occidente entre el 16 y 17 de abril de 2015, se contó con dos empresas de interés para el proyecto, las cuales presentaban alternativas

de automatizar una máquina herramienta de corte. Estas empresas fueron: INGEACOL Ingeniería y Automatización de Colombia S.A.S., que tiene sede en la Ciudad de Cali y CNC Repowering SAS, que tiene sede en la ciudad de Medellín.

En el caso de la primera de ellas, ofrecen entre sus servicios la repotenciación de máquinas herramientas (MH) mediante la técnica de retrofit implementando el Control Numérico Computarizado e incorporando sistemas de seguridad al igual que el montaje de los gabinetes eléctricos que den lugar. Al buscar sugerencias para el proyecto de pasantía, los representantes de la empresa estaban de acuerdo en que las nuevas tendencias en materia de repotenciación de MH están dirigida a hacer uso del Controlador basado en PC denominado Mach3, de igual forma este es el servicio que ellos ofrecen para la repotenciación de las MH a sus diferentes clientes. Esta empresa sugirió que en todo proyecto que se lleve a cabo con mach3 para la comunicación, se haga uso de una interfaz Hardware - Software que hagan uso del puerto USB, debido a que actualmente es un puerto fijo en una computadora ya sea de escritorio o laptop.

El puerto paralelo fue la opción predilecta hace algunos años debido a que originalmente mach3 funcionaba así, de igual forma el soporte técnico del software actualizó su versión de mach3 para ser trabajado vía USB. Los representantes de esta empresa manifestaron que con respecto al corte de plasma debía tener en cuenta que actualmente se recomienda el uso de un control de altura (THC), para mejorar el corte, además de automatizar el paso del gas combustible a los sopletes; el control de altura consiste en adicionar un eje z; que controle la distancia entre la boquilla del soplete y la placa a cortar, de igual forma el software mach3 está en capacidad de trabajar con esta implementación ya que tiene un módulo dedicado a corte por plasma que involucra el THC.

Con respecto a la empresa CNC Repowering, entre sus servicios se presta la repotenciación de las MH y al igual que INGEACOL, es con el software CNC denominado Mach3; debido a que había una disminución sustantiva del precio de la implementación al utilizar esta nueva tendencia debido a la reducción de hardware y tareas de mantenimiento. Sus recomendaciones fueron:

- Al trabajar utilizando el software se debía trabajar cualquier versión de mach3 más no de la última actualización denominada mach4, debido a que está en una versión beta que aún presenta fallos, mientras que con mach3 ha sido testeada en sus diferentes proyectos.

- Otras ventajas del software, consiste en que esté hace la cotización de un corte a priori al corte de la pieza, en función del tiempo utilizado en el corte, energía utilizada y otros aspectos configurables en el software.

Continuar con las soluciones tradicionales hace necesario software especializados con licencias de alto costo por esto al emigrar al software CNC Mach3, se tiene la ventaja de armar una especie de kit con los controladores de su preferencia, al igual que marca de motores, por ello indican que esta herramienta en software les ha permitido versatilidad en su diseño y en sus diferentes propuestas en función del nivel tecnológico que se quiera alcanzar.

Con esta entrevista se puede concluir que el concepto seleccionado esta direccionado a las tendencias actuales en la prestación de servicios de repotenciación de máquinas herramientas, sin embargo, se tiene que realizar la mejora de incluir una interfaz que funcionara por puerto USB, en lugar de LPT por ello se redefine el concepto en este aspecto en secciones posteriores, con esto el empresario al revisar diferentes propuestas va a encontrarse muy seguramente la propuesta de repotenciación utilizando el controlador CNC basado en PC denominado Mach3, ya que son las tendencias actuales para este tipo de proyectos.

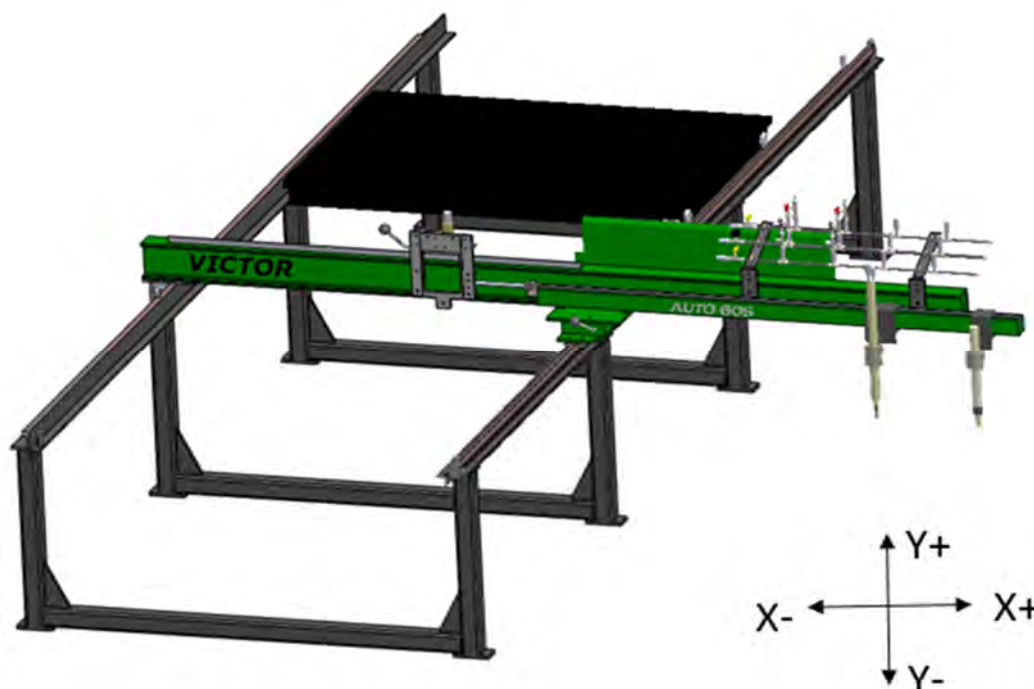
11. DISEÑO DETALLADO

En esta etapa se desarrolla el concepto seleccionado, se presentan los diferentes procedimientos llevados a cabo para la selección de los diferentes componentes físicos que conforman las funciones del concepto.

11.1 DISEÑO CAD DE LA MAQUINA

En la empresa no existía un modelo CAD de la máquina por lo que uno de los objetivos del proyecto involucraba construirla, en este caso se hizo uso de SolidWorks Student Edition 2014 SP5, licenciado a la Universidad Autónoma de Occidente. Se utilizó como herramienta para la medida de cada uno de los elementos de la máquina, un pie de rey digital con una tolerancia de ± 0.01 mm y un flexómetro, se corroboró con las pocas medidas disponibles en el manual de la máquina.

Figura 80. Modelo CAD Pantógrafo Victor Auto 60S de la marca Thermadyne



Fuente. Elaborado a partir de software SolidWorks Student Edition 2014 SP5.

Nota: La convención de ejes presentada será la referencia a seguir a lo largo de esta sección.

En los manuales técnicos de la máquina no indica el material usada en cada parte de esta, por esta razón se le pidió información al gerente de la empresa, basada en su experiencia en metales, acerca de la composición, así se obtuvo la información de que las partes más significativas eran de hierro, pero se desconocía de que tipo. Para esto, en el software Solidworks se utilizó el material con mayor densidad de masa en la clasificación de hierro. Revisando las diferentes densidades de masa en kg.cm³ se tendría:

Hierro Dúctil

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	1223652	kgf/cm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.31	N/D
Módulo cortante en XY	785176.7	kgf/cm ²
Densidad de masa	0.0071	kg/cm ³
Límite de tracción en X	8786.79	kgf/cm ²
Límite de compresión en X		kgf/cm ²
Límite elástico	5623.55	kgf/cm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.1e-005	/°C
Conductividad térmica en X	0.179254	cal/(cm·s·°C)
Calor específico	107.553	cal/(kg·°C)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Fundición Gris

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	674824.7	kgf/cm ²
Coefficiente de Poisson	0.27	N/D
Módulo cortante	509855	kgf/cm ²
Densidad	0.0072	kg/cm ³
Límite de tracción	1546.47	kgf/cm ²
Límite de compresión	5834.42	kgf/cm ²
Límite elástico		kgf/cm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.2e-005	/°C
Conductividad térmica	0.107553	cal/(cm·s·°C)
Calor específico	121.893	cal/(kg·°C)

Fundición Maleable

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1937449	kgf/cm ²
Coefficiente de Poisson	0.27	N/D
Módulo cortante	876950.6	kgf/cm ²
Densidad	0.0073	kg/cm ³
Límite de tracción	4217.65	kgf/cm ²
Límite de compresión en X		kgf/cm ²
Límite elástico	2811.77	kgf/cm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.2e-005	/°C
Conductividad térmica	0.112333	cal/(cm·s·°C)
Calor específico	121.893	cal/(kg·°C)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

El interés para los cálculos de esta selección radican en la densidad de masa del material, ya que es con esta que se obtendrá la masa de los diferentes elementos y este dato ayudara en las etapas posteriores de cálculo. Así por la anterior razón, se decidió tomar la densidad de masa más alta. Así el material para los diferentes elementos de los ejes tanto transversal como longitudinal se utilizara la fundición maleable (0.0073 kg/cm³).

¿Por qué desarrollar el modelo CAD de la maquina?

- Mejora en la representación gráfica del objeto diseñado: con el CAD, el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento, y observable desde distintos puntos de vista. Cuando se desee, un dispositivo de impresión (plotter) proporciona una copia en papel de una vista del modelo geométrico.

- Mejora en el proceso de diseño: se pueden visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias, etc. En conclusión, se optimiza el proceso de creación de un nuevo producto reduciendo costes, ganando calidad y disminuyendo el tiempo de diseño.

En resumen, se consigue una mayor productividad en el trazado de planos, integración con otras etapas del diseño, mayor flexibilidad, mayor facilidad de modificación del diseño, ayuda a la estandarización, disminución de revisiones y mayor control del proceso de diseño.²⁰

11.2 Conceptos utilizados en esta sección

- **Software de Aplicación.** Software encargado para indicar las posiciones deseadas y los perfiles de control de movimiento.
- **Amplificador o Drive.** Reciben las señales del controlador y generan la corriente necesaria adecuada para poder dirigir el motor.
- **Motor.** Los motores convierten energía eléctrica en energía mecánica, con el objeto de proporcionar torque para el movimiento de dispositivos mecánicos.
- **Breakout board (Placa interfaz de Salida).** Es una tarjeta electrónica que se utiliza como interfaz entre el PC y los controladores de los motores, reles y otros periféricos que permiten controlar una maquina CNC. La primera función de una Breakout board es traducir las señales de un PC para poder correr una maquina CNC. Su segunda función es aislar la placa base del PC de los problemas eléctricos que se puedan presentar, así se evita dañar la placa base.
- **Inercia.** Se define como la resistencia que oponen los cuerpos a modificar su estado de reposo o movimiento.

²⁰ CAD CAM Aspectos Generales. [En línea] weissdesign [Consultada en junio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.weissdesign.com/cad1.html>.

- **Par de aceleración.** Es el par debido a fuerzas inerciales.
- **Par constante:** Es el par debido a fuerzas no inerciales.

11.3 Metodología Control Motion.

Esta metodología está basada en los libros Motion Control Handbook escrito por el Dr. Stephen J. O'Neil, "A comprehensible Guide to Servo Motor Sizing" escrito por Wilfried Voss y el manual "Sistema de motores paso a paso SureStep" de la Empresa AutomationDirect²¹, esto se hace con el objeto de seleccionar el actuador adecuado para la propuesta de diseño y los diferentes sistemas requeridos para el control de movimiento.

11.3.1 Establecer los objetivos de movimiento. En esta etapa se determinan respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Se requiere precisión de posicionamiento?
- ¿Cuál es la mínima y máxima velocidad?
- ¿Es requerida repetibilidad en el posicionamiento?
- ¿La aplicación es Lineal o rotativa?
- Si la aplicación es lineal: ¿La aplicación es horizontal o vertical?
- Consideraciones térmicas – ¿Determinar la temperatura ambiente?
- ¿Qué tecnologías de motores son las utilizadas para la aplicación?

Numero de ejes a controlar. El pantografo Electronico Victor Auto 60S de la marca Thermadyne, realiza el movimiento simultaneo del eje longitudinal y transversal para realizacion de figuras con contorno, esto se puede homologar con lo que hace una mesa XY, por lo tanto se identifican que el numero de ejes a controlar son 2. En aplicaciones donde se hace uso del cortadoras de chapa metalica se implementa el control de altura de la antorcha con lo cual se cuenta con un nuevo eje, sin embargo, este proyecto no tiene este alcance.

²¹ Empresa Estadounidense especializada en Venta de productos para Automatización. [En línea] automationdirect [Consultada en mayo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.automationdirect.com/adc/Home/Home>.

➤ Selección del Perfil de Movimiento.

La trayectoria de movimiento caracteriza el control de la tarjeta del controlador de movimiento o la señal de comando de salida al amplificador; y como resultado un motor o una acción de movimiento siguen ese perfil. El controlador de movimiento típico calcula los segmentos de la trayectoria del perfil de movimiento en base a los valores de parámetros que se programe. El controlador de movimiento utiliza los valores de la posición especificada deseada, la velocidad máxima que se desea alcanzar y la aceleración que el usuario proporciona para determinar cuánto tiempo empleará en los tres segmentos de movimiento principales (los cuales incluyen aceleración, velocidad constante y desaceleración).²²

- *Trapezoidal:* El movimiento comienza desde una posición de detenimiento o desde un movimiento previo y sigue una rampa de aceleración indicada hasta que la velocidad alcanza la velocidad deseada para el movimiento, luego de completar la tarea asignada se tiene una rampa de descenso de velocidad gradual hasta que se detenga (ver Figura 82)
- *Triangular:* El movimiento comienza desde una posición de reposo y sigue una rampa de aceleración indicada y al alcanzar la velocidad objetivo inmediatamente se aplica la desaceleración.

Tanto en servomotores como en motores paso a paso, para aplicaciones CNC se hace muy frecuentemente el perfil trapezoidal, debido a que al ser acelerado y desacelerado a lo largo de perfil trapezoidal se asegura una operación eficiente del motor.

La precisión de posicionamiento. Esta limitada con el sistema mecánico de la máquina, este brinda tolerancias de 2.5 +/- 0.5 mm, la transmisión del movimiento rotacional del motor se convierte en lineal gracias a la unión de un piñón con el eje del motor que engrana con un sistema cremallera-piñón, el movimiento lineal se hace horizontalmente, propio de una mesa XY. En el ambiente se dan temperatura de máximo 30°C.

Con respecto a la velocidad actual de los motores de la máquina (MT9414C369 – 3501D74H01), en el manual del fabricante se extrajeron los siguientes datos:

²² Fundamentos de Control de Movimiento. [En línea] ni.com [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.ni.com/white-paper/3367/es/>

- Velocidad máxima lineal: 3000 mm/min = 300 cm/ min = 3 m/min
- Velocidad máxima en que puede girar el motor: 3000 RPM
- Radio del piñón = 8 mm = 0.008 m

Método 1:

$$\frac{1 \text{ cm}}{4 \text{ dientes}} \times \frac{23 \text{ dientes}}{\text{revolucion}} = 5.75 \frac{\text{cm}}{\text{revolucion}}$$

$$\frac{300 \frac{\text{cm}}{\text{min}}}{5.75 \frac{\text{cm}}{\text{revolucion}}} = 52.17 \frac{\text{revolucion}}{\text{min}}$$

Método 2:

$$\text{Velocidad lineal} = \text{Velocidad angular} \times \text{Radio}$$

$$\text{Velocidad angular (rad/s)} = 0.05 / 0.008 = 6.25 \text{ rad/s}$$

$$6.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left(\frac{1 \text{ Rev}}{2 \pi \text{ rad}} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 59.68 \text{ RPM}$$

Determinación de la reducción utilizada

$$\text{Reducción} = \text{Velocidad entrada} / \text{Velocidad salida} = 3000 / 59.68 = 50.26$$

Esto significa que el motor DC hace una reducción de 50:1. El resumen de los resultados se presenta en la tabla 16.

Tabla 16. Datos de los motores actuales

Característica	Valor	Fuente
Velocidad máxima lineal:	3000 mm/min	Manual Técnico Pantógrafo
RPM Motor sin reductor:	3000RPM	Manual HL – 90
Reducción:	50:1	Pasante
RPM Max Motor con Reductor	60 RPM	Pasante

Tecnología de motores usados frecuentemente en la aplicación. Actualmente, en los CNC se utilizan para tecnología de motores como opciones los Servo motores y motores paso a paso. La selección depende del tipo de control de

movimiento que se requiera tener, además de evaluar si es el sistema mecánico permite mejorar la precisión y exactitud del movimiento con algún tipo combinación actuador/controlador. Está disponible la tecnología de motores lineales, sin embargo, es una tecnología de muy alto costo. Estas tecnologías de motores permiten reducir las tecnologías a buscar, por lo cual son las que se tendrán en cuenta para seleccionar el actuador.

11.3.2 Los componentes mecánicos en la máquina. La metodología tiene como siguiente paso decidir los componentes mecánicos que se necesitan para la aplicación. Sin embargo, el alcance del proyecto no está contemplando la modificación del sistema mecánico de la maquina actual, sin embargo, la metodología ayuda a deslumbrar con el que se está tratando.

- ¿Hace uso de Accionamiento directo?
- Hace uso de mecanismos especiales o mecanismos estándar?
- Si la aplicación es lineal, ¿Usa un motor lineal, o un Husillo a bolas, Banda transportadora, cremallera-piñón?
- ¿Requiere caja de reducción, Correa, etc?
- Comprobar las dimensiones del eje, además seleccione acoplamientos.
- Comprobar las limitaciones de velocidad y aceleración para estos componentes mecánicos.

El sistema actual es para una aplicación lineal que hace una conversión de un movimiento rotacional en lineal por medio del uso de cremallera-piñón. Las limitaciones de velocidad y aceleración para estos componentes mecánicos se han determinado en función de lo indicado en el manual del fabricante HL-90.

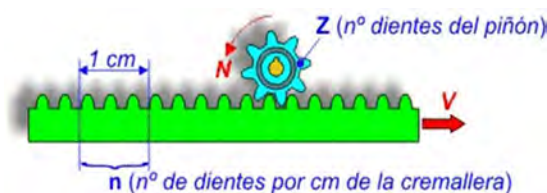
En el sistema actual se adecua una reducción para la salida en el motor; lo que esto hace es aumentar el par del motor para poder mover la carga. A continuación se describe las características de un sistema cremallera – piñón, debido a que la precisión del pantógrafo está directamente relacionada con la precisión de los sistemas de accionamiento de los ejes.

11.3.2.1 Sistema Piñón – Cremallera. Permite convertir un movimiento giratorio en uno lineal continuo, o viceversa. Aunque el sistema es perfectamente reversible, su utilidad práctica suele centrarse solamente en la conversión de giratorio en lineal continuo, siendo muy apreciado para conseguir movimientos lineales de precisión.

El sistema está formado por un piñón (rueda dentada) que engrana perfectamente en una cremallera, para lograr esto el modulo tanto del piñón como de la cremallera deben ser iguales. Cuando el piñón gira y la cremallera esta fija, entonces el piñón se desplaza, esto sucede porque los dientes del piñón empujan los de la cremallera, provocando el desplazamiento lineal de esta. Este es el sistema que tiene el pantógrafo, objeto del proyecto.

La relación entre la velocidad de giro del piñón (N) y la velocidad lineal de la cremallera (V) depende de dos factores: el número de dientes del piñón (Z) y el número de dientes por centímetro de la cremallera (n).

Figura 81. Cremallera – piñón



Por cada vuelta completa del piñón la cremallera se desplazará avanzando tantos dientes como tenga el piñón. Por tanto se desplazará una distancia: $d = z/n$, mientras que la velocidad del desplazamiento será: $V = N \cdot (z/n)$

Fuente. Cremallera – Piñón. [En línea] Curso Mecanismos. [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm

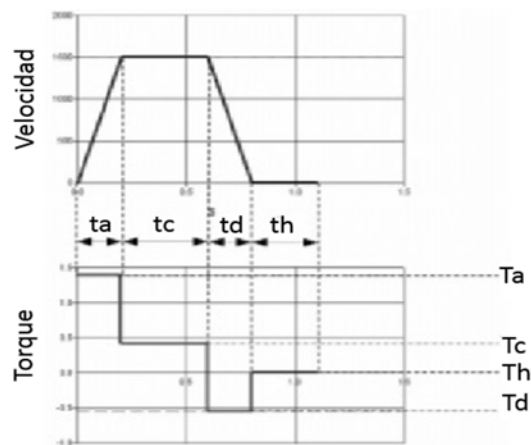
Lubricando adecuadamente, la vida útil de los conjuntos de piñón y cremallera será más larga. Unos conjuntos perfectamente lubricados también pueden alcanzar unas velocidades nominales más altas. En la mayoría de los sistemas de piñón y cremallera, el método más habitual es un kit de lubricación o un dispositivo de engrasado automático.

11.3.3 Definir el ciclo de la carga. Aquí se responde las siguientes cuestiones:

- Definir los parámetros de movimiento como el rango de velocidad y aceleración máximos.
- ¿El perfil del movimiento será: Triangular, Trapezoidal u otro perfil de movimiento?
- Si la aplicación es lineal: Estar seguro que el ciclo de trabajo no exceda los límites en que se puede mover la máquina.
- ¿Existe alguna limitación en el arranque?
- ¿Existe un cambio de carga durante el ciclo de trabajo?: Esto define si el par necesario es constante o está cambiando gradualmente en el tiempo
- ¿Cuándo la velocidad es cero se hace necesario un par de mantenimiento (holding brake)?

La carga corresponde aquella resistencia que se opone al movimiento. En el pantógrafo, la carga que tiene que superar el actuador eléctrico, está representada en los ejes de la máquina y los demás componentes anclados a la estructura de estos, esto significa que la carga no cambia en el tiempo, para lo cual se especifica que se tiene una aplicación donde el par requerido es constante durante los momentos de aceleración y desaceleración en el tiempo. Para la aplicación de control numérico es recomendable utilizar un perfil de movimiento trapezoidal o uno en curva S, esto depende de la capacidad del controlador. Para el software mach3 solo está disponible el perfil trapezoidal, por lo que se ahondara en este.

Figura 82. Características del perfil trapezoidal



Fuente. Voss, Wilfred. A Comprehensive Guide to Servo Motor Sizing. Copperhill Technologies Corporation.2007 P. 48

Tabla 17. Segmentos de un perfil trapezoidal

Símbolo	Descripción
Ta	Total torque durante la aceleración - (incl. Torque constante)
Tc	Torque constante debido a la fuerzas no inerciales
Td	Total torque durante desaceleración - (incl. Torque constante)
Th	Total torque mantenimiento
ta	Tiempo de Aceleración
tc	Tiempo de velocidad constante
td	Tiempo de desaceleración
th	Tiempo de mantenimiento

Al definir el ciclo de carga se hace importante tener en cuenta que:

$$\text{Torque (Nm)} = I_{\text{total}} (\text{kg} \cdot \text{m}^2) * \text{Aceleración Angular (rad/s}^2) \quad (1)$$

Por ello al hacer más pequeño el tiempo en que se debe alcanzar una velocidad específica va a suceder que va a aumentar el torque.

$$\alpha = (wf - wo)/(tf - to) \quad (2)$$

El torque debido a la rampa de aceleración se denomina par aceleración mientras que el torque, cuando se está trabajando en velocidad constante, se denomina Torque constante, y es debido a todas las fuerzas no inerciales como gravedad, fricción, precarga y otras fuerzas, la suma de ambos brinda el torque mínimo para la aplicación.

$$\text{Torque Total} = \text{Par debido a aceleración} + \text{Par constante} \quad (3)$$

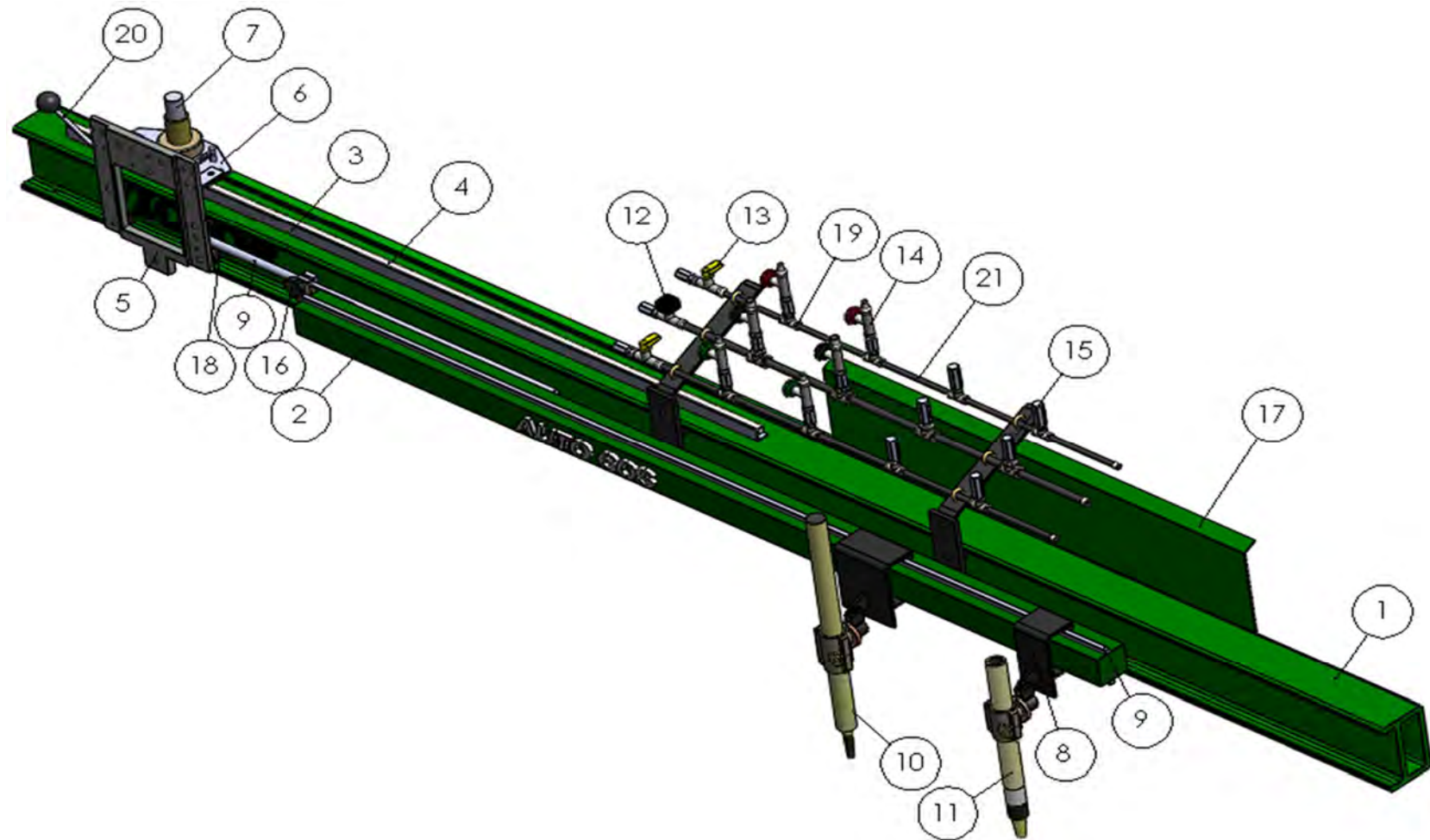
11.3.4 Calculo de la carga. En este apartado se responde a las siguientes cuestiones:

- Calcule la inercia de todos los componentes en movimiento.
- Determine la inercia reflejada al motor.
- Determine la velocidad, aceleración del eje del motor.
- Calcule el torque de aceleración referido al eje del motor.
- Calcule el torque constante referido al eje del motor.
- Calcule la aceleración total y RMS (Continua durante el ciclo de trabajo) referida al eje del motor.

Requerimiento de torque. El método tradicional es calcular la inercia total del sistema analizando los diferentes eslabones del mecanismo del sistema a mover, esto es la cadena cinemática, y tiene que ser referida al eje del motor, esto significa que la inercia se debe calcular en función de lo que el motor “observa”, así se podrá seleccionar el motor adecuado y el control que supla esas necesidades. Este torque se denomina el par de aceleración, existe un componente de torque mientras la velocidad se hace constante que se denomina “par constante”.

En el libro de “A comprehensible Guide to Servo Motor Sizing”, para el caso de servomotores se recomienda que un sobredimensionamiento de hasta 20% para aplicaciones horizontales y para verticales del 30%, esto es absolutamente aceptable con el objeto de cubrir estas fuerzas no inerciales que generan el par constante. Mientras que para el caso de Motores paso a paso, en el manual “Sistema de motores paso a paso SureStep”, se recomienda un factor de seguridad entre 20 a 100%, dependiendo del sistema en cuestión, para evitar que el motor deje de ejecutar pulsos o se pare por cambios de carga ya que hay varios efectos difíciles de cuantificar, tal como la velocidad del lubricante, desgaste del actuador, etc.

Figura 83. Referencias de los elementos que componen la cadena cinemática del eje Y.



Fuente. Elaboración a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Tabla 18. Piezas en el eje longitudinal.

# Pieza	Pieza	Cantidad	# Pieza	Pieza	Cantidad
1	Cuerpo carro Superior	1	11	Soplete Plasma	1
2	Riel de Extensión	1	12	Válvula solenoide	1
3	Riel Guía	1	13	Válvula de paso	2
4	Cremallera	1	14	Válvula Reguladora	6
5	Soporte del HI-90	1	15	Soporte distribución	2
6	Soporte deslizante	1	16	Elemento de ajuste	1
7	Motor Pittman	1	17	Canaleta	1
8	Soporte soplete	2	18	Rodamientos en V	8
9	Varilla	2	19	Unión en T 1/8"	8
10	Soplete oxicorte	1	20	Palanca	1

Nota: El elemento número 1,3 y 4, no representa una fuerza inercial con la cual tenga que lidiar el motor del eje Y.

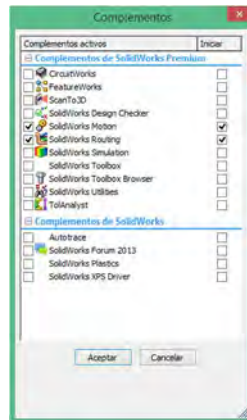
Estrategia Tradicional Utilizada. La estrategia tradicional consiste en separar los elementos de la cadena cinemática, así calcular la inercia aplicada por ese elemento en referencia al eje del motor. Luego se hace una sumatoria de todos estos valores para encontrar la inercia total, se debe recordar incluir dentro de la suma la inercia del propio motor.

$$J_{total} = J_{motor} + J_{sistema} \text{ (2 hasta 20)} \quad (4)$$

Estrategia haciendo uso de software. El software Solidworks por medio de la herramienta SolidWorksMotion permite estimar la inercia del sistema referida a cada eje del motor, al igual que permite construir el perfil de movimiento y finalmente determinar el torque requerido para cada eje y esto gracias a que ya se construyó el modelo CAD de la máquina.

A continuación se presenta el procedimiento a seguir para determinar estos parámetros y obtener el torque mínimo necesario del motor.

Figura 84. Habilitacion complemento SolidWorks Motion



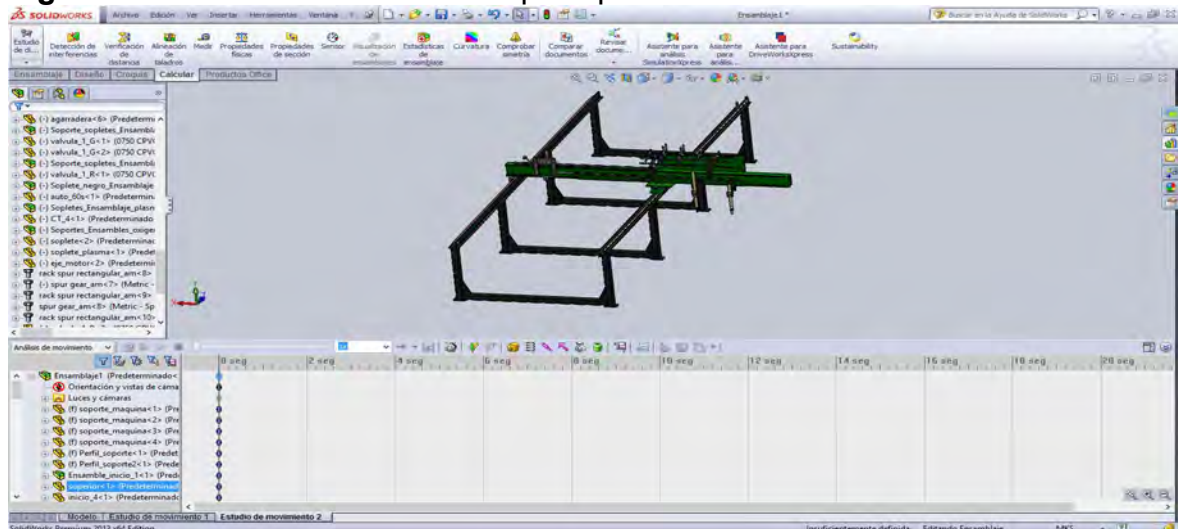
En Solidworks se puede realizar diferentes estudios de movimientos con el objeto de controlar diferentes parámetros en ingeniería que permitirán determinar el éxito del producto. Para esto como primera medida se debe habilitar el complemento denominado “SolidWorks Motion”. La figura 84, presenta como habilitar este complemento.

Ahora se describe una serie de pasos con los cuales se construyó el perfil de movimiento:

Paso 1: Verificar que el movimiento de la máquina, en la pestaña “modelo”, no presentase interferencias, esto se hizo con la herramienta “detección de interferencia”.

Paso 2: Ubicar la máquina en la posición de reposo desde donde iba a iniciar el análisis. A continuación se selección estudio de movimiento y se selecciona la pestaña “Análisis de movimiento”.

Figura 85. Posición inicial de la máquina para el análisis.



Fuente. Elaboración a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Figura 86. Barra de la pestaña estudio de movimiento




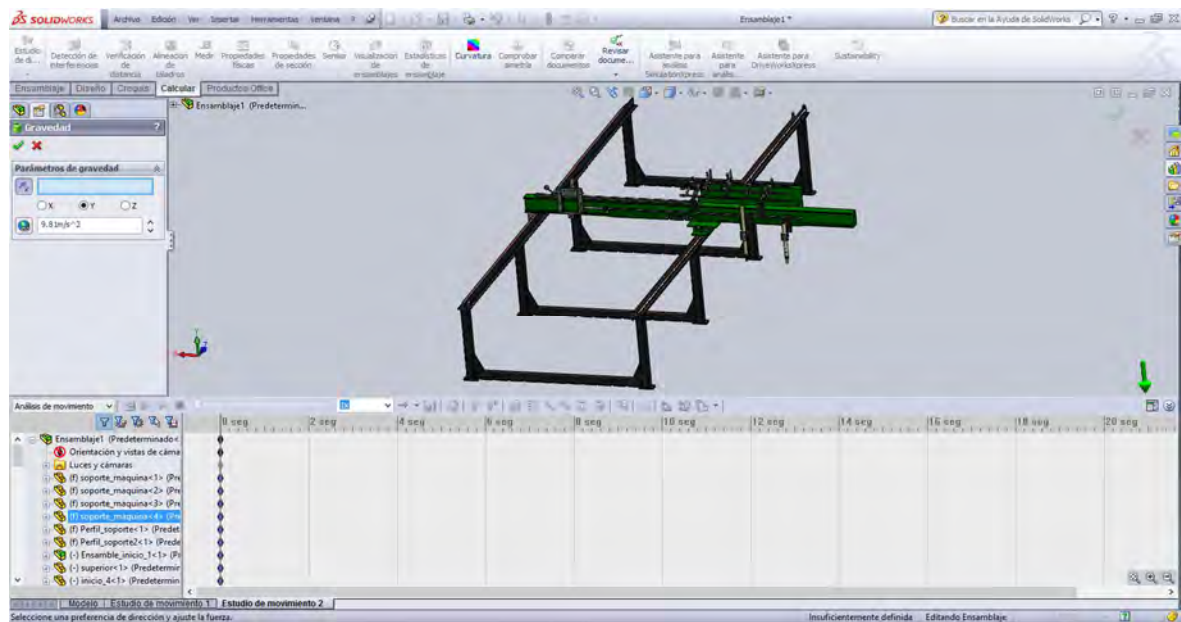
Paso 3: Agregar el factor gravedad, icono , esto permite simular la maquina teniendo en cuenta la presencia de la fuerza gravitacional, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ y se determina la dirección de esta al ser aplicada.

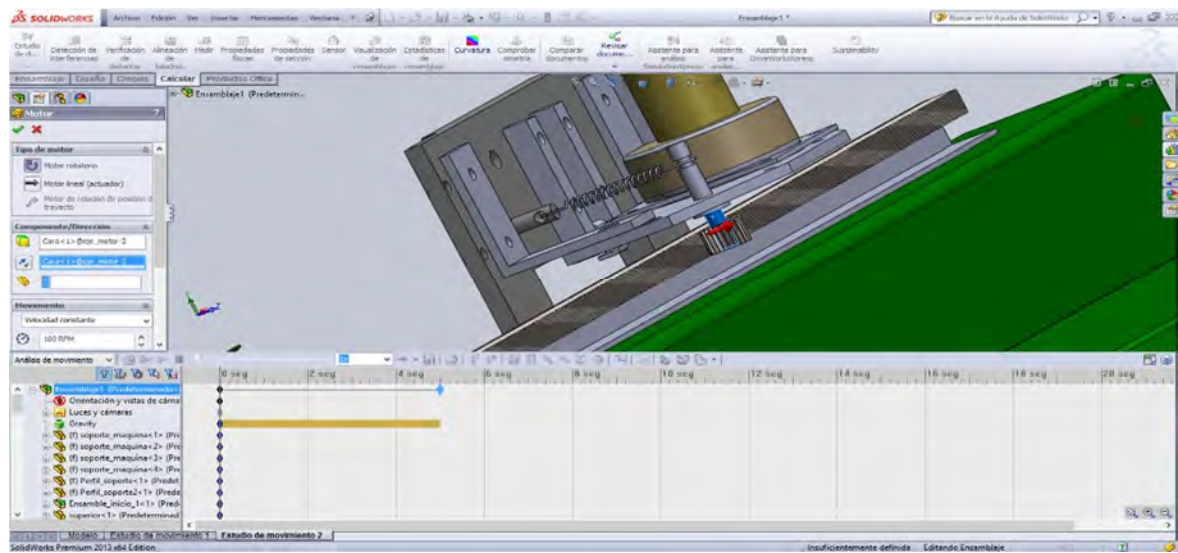
Figura 87. Adición del factor Gravedad



Fuente. Elaboración a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Paso 4: Se agrega el motor rotacional en el eje del motor que interesa analizar. El primer análisis se realizó en el eje X, y se da la dirección deseada de rotación. Se hace uso del eje del motor de la maquina actual, luego se restara la inercia de este.

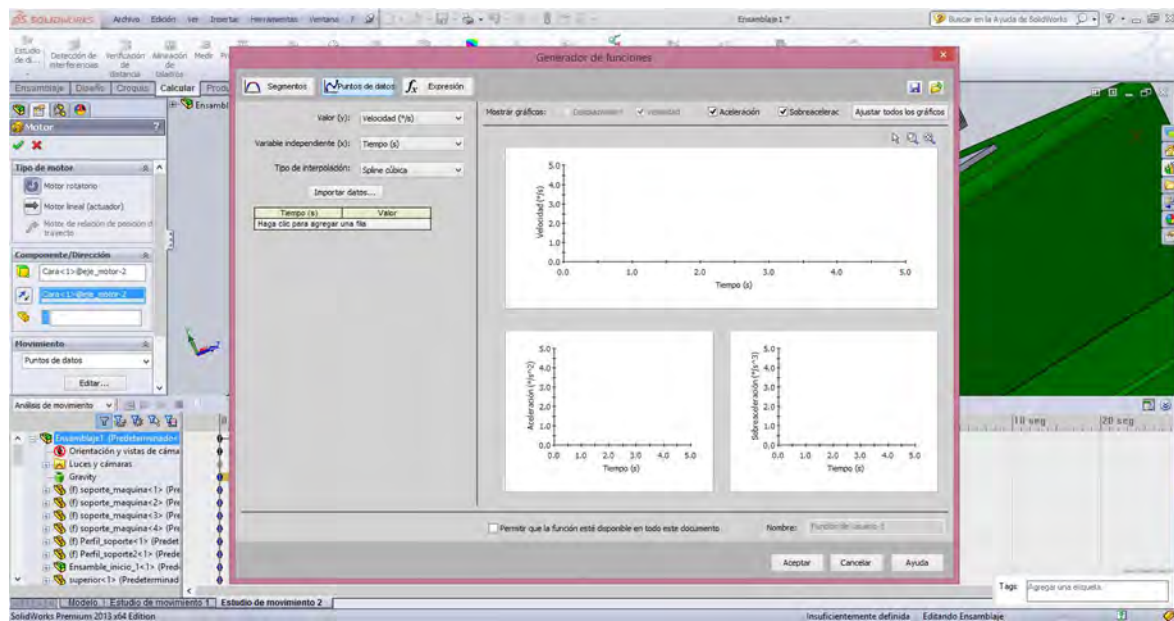
Figura 88. Ubicación del motor giratorio en el eje del motor para eje X.



Fuente. Elaboración a partir software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Paso 5: A continuación se procede a crear un perfil de movimiento, esto se hace en la pestaña “Movimiento” y se despliega una lista de la cual se selecciona la opción denominada “puntos de datos”. Aquí es donde se crea el perfil de movimiento.

Figura 89. Construcción del perfil de movimiento



Fuente. Elaboración a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

La construcción de la tabla lleva el siguiente proceso. El interés en el análisis de movimiento es en el torque, teniendo en cuenta la cinemática se puede tener las siguientes ecuaciones que son resultado del movimiento circular uniformemente acelerado:

$$w_f^2 = w_o^2 + 2 \alpha (\theta - \theta_o) \quad (5)$$

$$w_f = w_o + \alpha (t_f - t_o) \quad (6)$$

Trabajando en el sistema internacional se tendrá:

Wf = Velocidad angular final (RPM)	Wo = velocidad angular inicial (RPM)
Alpha (α)= Aceleración angular (rad/s ²)	to = Tiempo en que inicia el movimiento (s)
Theta (θ) = Distancia recorrida (rad)	tf = Tiempo en que se debe alcanzar la velocidad angular especificada en wf (s)

En SolidWorks se trabaja la velocidad angular en °/s, el factor de conversión de RPM a °/s, es:

$$W_f * 360 / 60 \quad (7)$$

Ante las siguientes condiciones de funcionamiento:

$W_0 = 0$ RPM

$W_f = 60$ RPM (velocidad de estabilización deseada) esto equivale en grados/s = $360^\circ/\text{s}$

Tiempo inicial = 0s (parte del reposo)

Tiempo final en alcanzar la primera posición objetivo = 0.2 s

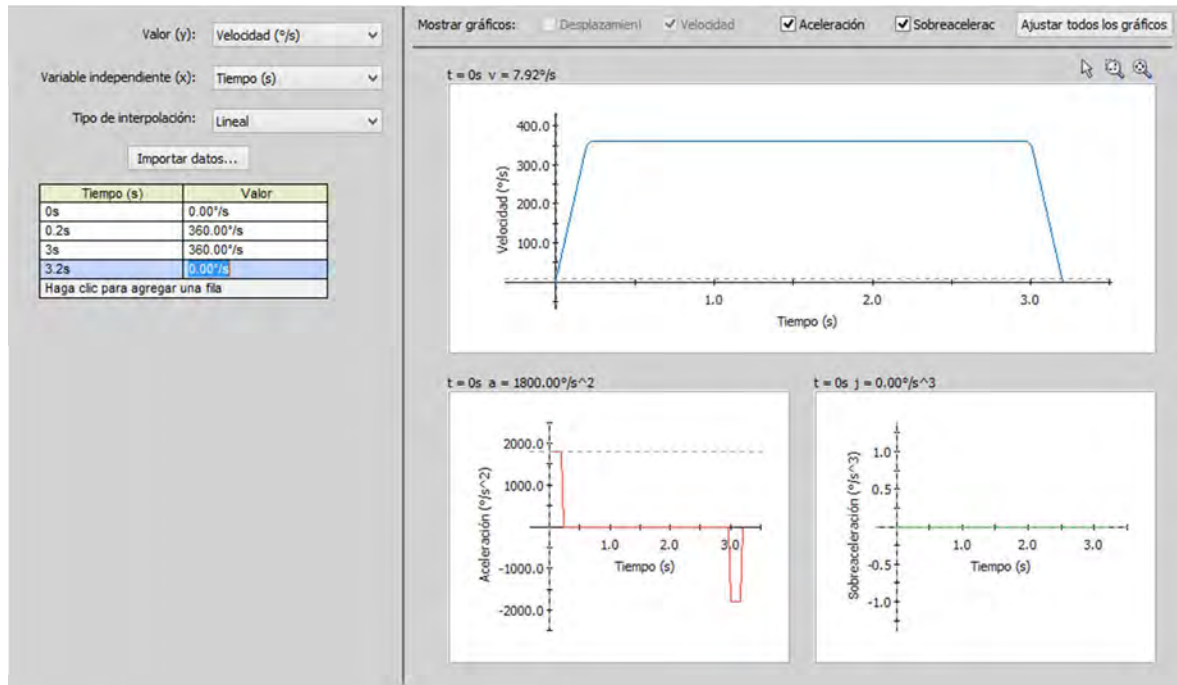
A medida que se disminuya el tiempo de aceleración, ecuación 2, aumenta los requerimientos de torque, ecuación 1. Para el caso del proyecto se tendrá:

$$\alpha = \frac{360 - 0}{0.2 - 0} = \frac{1800^\circ}{\text{s}^2} = 31.42 \text{ rad/s}^2$$

También se especifica que la desaceleración en el perfil tenga la misma magnitud. En conclusión, se desea que el motor luego de alcanzada la velocidad especificada se mantenga con esta velocidad durante el intervalo de 0.2s a 3 segundos y luego desacelere hasta llegar a 0 RPM en los siguientes 0.2 s, así la duración del movimiento será 3.2 segundos, la duración del tiempo en el cual está en velocidad constante no influye en la determinación del torque de aceleración por lo dispuesto en la ecuación 1.

Ya construida la tabla, se selecciona que el tipo de interpolación sea Lineal. El resultado de este proceso se presenta en la siguiente figura.

Figura 90. Configuración Perfil de movimiento trapezoidal para eje X.




Fuente. Elaborado a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

De esta forma queda creado el perfil de movimiento que va a seguir el motor.

Figura 91. Configuración Final



A continuación se selecciona en el icono . De esta forma queda configurado y la herramienta para realizar la simulación.


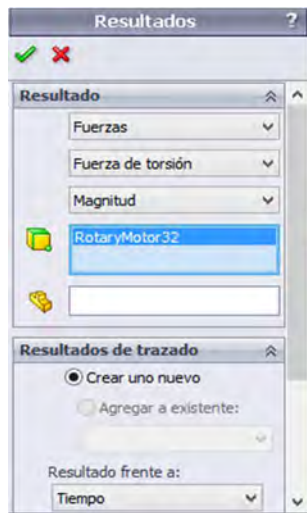

Paso 6: En la barra de tiempo se especifica el tiempo del perfil de movimiento que equivaldría a 3.2 s y se presiona el icono , para iniciar el proceso se debe colocar la barra de tiempo en cero.

Figura 92. Obtención de resultados



Paso 7: Cuando ha terminado el proceso de simulación se debe dirigir al icono , en el cual se puede obtener los datos del análisis de movimiento que desean conocer. En el caso del proyecto interesa la fuerza de torsión del motor y se configura como lo muestra la siguiente figura para poder obtener el grafico.


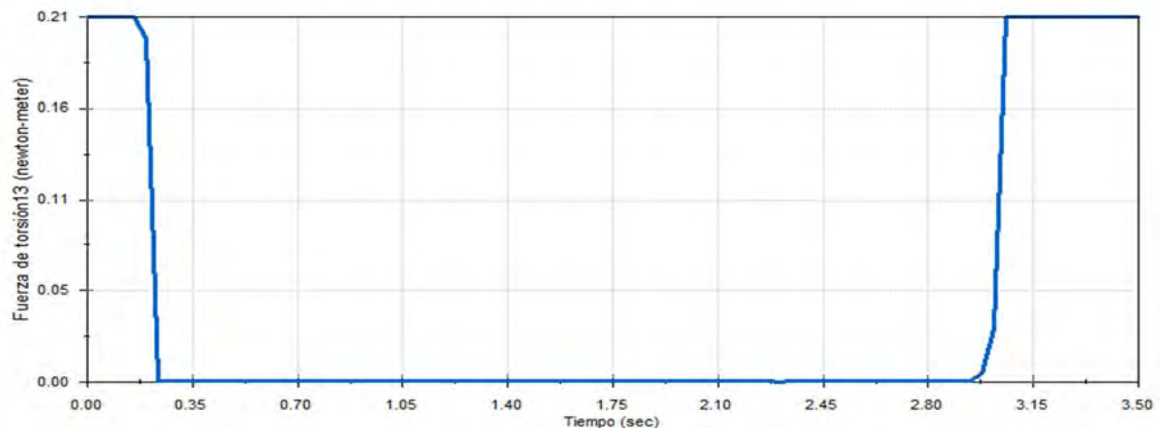
Al seleccionar en el icono , se tendrá la gráfica del par de aceleración en el tiempo de acuerdo al perfil especificado:

Figura 93. Grafica Torque (Nm) vs Tiempo (s) Para el eje X.

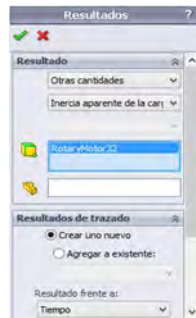


Fuente. Elaborado a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Esto significa que el torque, sin sobredimensionar del motor debe ser de 0.21 Nm. Como se observa en el momento en que la velocidad se hace constante, cae el torque y se hace cero, esto es debido a que no se tuvo en cuenta las fuerzas no inerciales, que aplican un torque menor que el par de aceleración durante este

intervalo de tiempo. También se puede obtener el grafico de la inercia aparente de la carga referida al eje del motor, ahora en lugar de utilizar formulas teóricas se hace uso de SolidWorks Motion.

Figura 94. Configuración para resultado de Inercia aparente de la carga




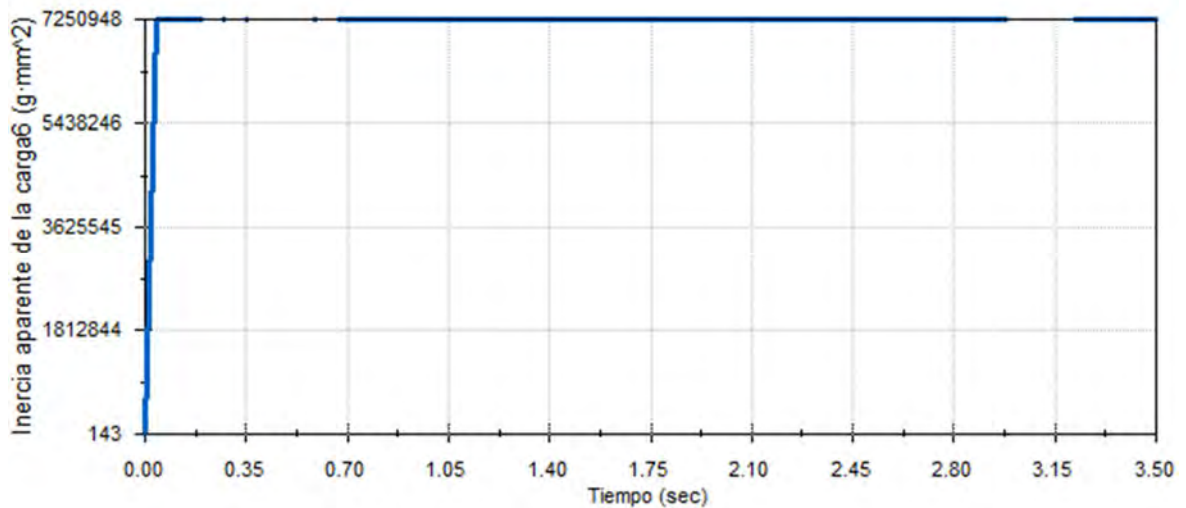
Para esto se hace uso de nuevo el icono , se selecciona “otras cantidades”, luego se selecciona “Inercia Equivalente de la carga” y se selecciona el motor con el cual se realizó el análisis y se obtiene el siguiente resultado.

Figura 95. Inercia Total referida el eje del motor en el eje X.



Fuente. Elaborado a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

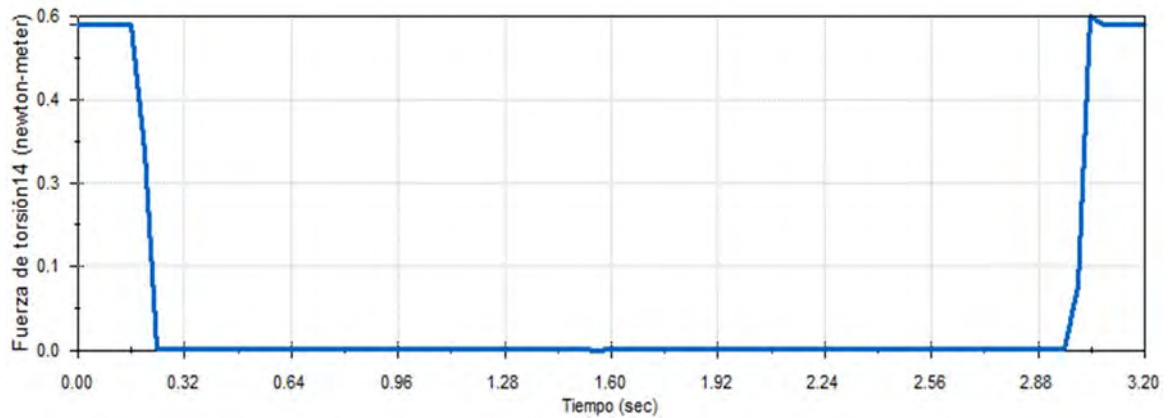
Debido a que las unidades de la inercia en esta grafica están en g*mm² se hace necesario pasarla a Kg.m², esto es:

$$7250948 \text{ g} \cdot \text{mm}^2 \left(\frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2} \right) = 0.007250948 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

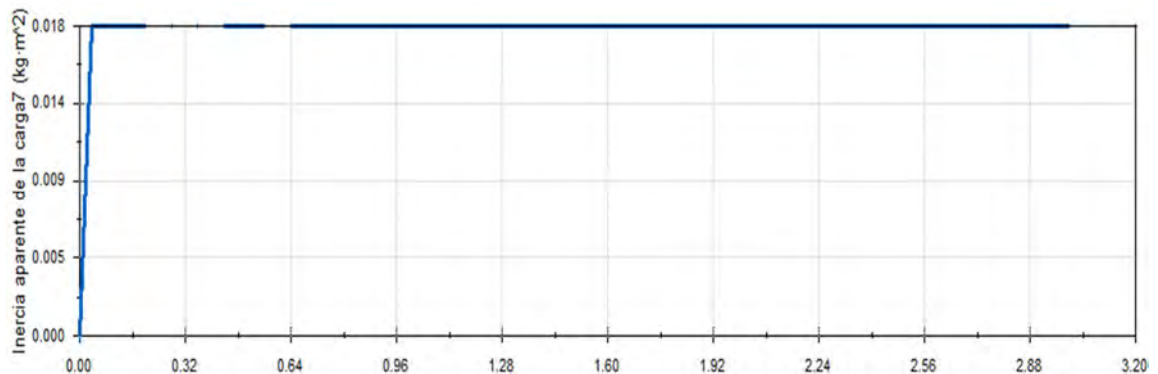
Este valor incluye la inercia del rotor del motor que allí se modelo, sin embargo debido a que aún no se ha seleccionado el motor lo que se hace es restar la inercia del rotor del motor actual al valor obtenido. Resulta ser que la inercia del motor simulado es de $0.00000014267 \text{ Kg.m}^2$. Por lo tanto, resulta ser que la inercia del sistema será: $0.00725080533 \text{ Kg.m}^2$, por lo que se seguirá tomando el valor dado en simulación.

Se realiza el mismo procedimiento para el eje Y, Este es el que tiene que mover prácticamente toda la carga, esto es su propio eje más el eje X. En el análisis se obtiene las siguiente graficas:

Figura 96. a) Torque en el eje del motor en el eje Y b) Inercia Total referida al eje del motor Y



a)



b)

Fuente. Elaborado a partir de software Solidworks Student Edition 2014 SP5.

Esto significa que el torque, sin sobredimensionar del motor debe ser de 0.57 Nm y se tiene que mover una carga con inercia de magnitud de 0.018 Kg*m².

En la siguiente tabla se resume los resultados:

Tabla 19. Resultados en simulación

Motor Eje	Inercia (Kg*m ²)	Aceleración angular (rad/s ²)	Torque (Nm)	Sobredimensionamiento Del 30%
Y	0.018	31.42	0.57	0.741
X	0.007250948	31.42	0.23	0.3

Como se mencionó en apartados anteriores, para determinar las fuerzas no inerciales se aplica un sobredimensionamiento que es aproximadamente del 30%.

11.3.5.1 Consideraciones de la inercia. El escenario ideal es tener una relación de inercia de la carga con la inercia del motor que sea 1:1, sin embargo, en la práctica esto no sucede por lo que se debe buscar que esta relación sea lo más cercano posible y se puede calcular así:

$$\text{Factor de inercia: Inercia total del sistema / Inercia del rotor del motor} \quad (8)$$

Las razones para que coincida con el momento de inercia son:

- El motor no será capaz de controlar la velocidad y la posición de la carga con precisión si la carga es demasiado pesada, esto dará lugar a inestabilidades del sistema, tales como vibraciones y puede conducir a daños mecánicos. Los cambios rápidos en la velocidad o posición se vuelven muy difícil.
- Si la inercia de la carga es demasiado baja, es decir, el motor es simplemente de gran tamaño para la aplicación, más energía se utiliza para acelerar o desacelerar el rotor, en lugar de la carga. Así desde el punto de vista del consumo de energía se trata de una pérdida de potencia y también podría dar lugar a un sobrecalentamiento del motor.

La relación de inercia se puede utilizar como un indicador de posibles problemas de estabilidad. Si se tiene problemas entonces se debe considerar un reductor, para reducir los efectos de la inercia.

11.3.6 Proceso llevado a cabo para seleccionar del Motor. En este paso se responde las siguientes cuestiones:

- Decidir la tecnología de motor de usar (DC brushless, DC sin escobillas, paso a paso, etc).
- Seleccionar una combinación motor / drive.
- El motor soporta el requerimiento máximo de velocidad? si no, seleccione otra combinación motor/drive
- Sume la inercia del rotor a la inercia total del sistema (motor más componentes mecánicos) para calcular aceleración (pico) y el par de RMS del sistema.
- ¿El par nominal del motor soporta el torque RMS del sistema? si no, seleccione motor / drive.
- ¿El par intermitente del motor soporta el par máximo del sistema? si no, seleccione otra combinación motor/drive.
- ¿La curva de rendimiento del motor (par vs velocidad) apoya los requerimientos de torque y velocidad? sino, seleccione otra combinación motor/drive.
- si la relación de la inercia de la carga sobre la inercia del rotor excede de un cierto intervalo (para servomotores 6: 1) considerar el uso de la caja reductora o aumentar la relación de transmisión de la caja de reducción existente. Los servomotores no deben ser operados a través de una relación de 10: 1.

Tecnología del motor a Usar. En la técnica de retrofit se ha extendido el uso, en los sistemas cremalleras-piñón, de los motores paso a paso debido a que estos motores pueden dar una precisión en sus pasos que suple la necesidad de trabajar con la precisión del sistema cremallera-piñón y su bajo precio en comparación con un servomotor, lo han hecho una opción importante a evaluar.

Antes del proceso de selección de un motor basado en las comparación de inercia, velocidad y par, tiene sentido evaluar las tecnologías de motor que podría ser apropiada, esto limitara el número de tecnología de motores que se necesitan investigar para el proyecto. Las tecnologías de motor utilizadas comúnmente para aplicación CNC son servomotores y motores paso a paso, se presentan un cuadro comparativo de estás.

Tabla 20. Comparación Servomotor vs Motor paso a paso.

Y= Yes, N = No

Características	Stepper Motor	Servomotor	Comentarios
Bajo Costo	Y	N	Los de más bajo costo son usualmente el motor PAP, mientras que el Servomotor si tiene un alto costo.
Funcionamiento Suave (ruido mínimo, vibración)	N	Y	Alto rendimiento en las técnicas de conmutación, tales como: conmutación sinusoidal, puede contribuir a hacer la operación del servomotor más suave al igual que el motor PAP, sin esto el PAP presentaría alto ruido.
Alta Velocidad	N	N	Los motores paso a paso usualmente no superan los 3000 rpm.
Alta potencia	N	Y	
Alto par de relación de tamaño	Y	Y	Servomotor proporciona una mejor gama de par a velocidades superiores, mientras que el motor paso a paso el rendimiento disminuye significativamente a mayor velocidad
circuitos de control más simple	N	N	El servomotor tiene el modo de control por PWM, mientras que el PAP se mueve en función de la codificación que corresponde a una determinada posición.

La máquina permite una tolerancia entre 2.5 +/- 0.5 mm, al buscar mejorar la precisión del corte con un servomotor no es una opción porque la maquina no va a dar más de lo que mecánicamente puede, mientras que con un motor paso a paso se puede operar con esta tolerancia, el problema de esté es la resonancia y la vibración, a lo que la electrónica moderna ha implementado técnicas de conmutación sinusoidal para solucionar el problema, esto se denomina micropasos y la otra opción es la integración de reductores al motor PAP, para que a la salida del eje, resulte un movimiento más suave. La máquina se opera a bajas velocidades lineales (máximo 3000mm/min), la operación de la velocidad de rotación ya sea de un servo o un PAP, va a ser baja y en ambos casos sucede que con bajas velocidades se tiene un alto torque. Finalmente, el costo económico de la implementación aumentara con un sistema servo.

En conclusión, la maquina seguirá operando a baja velocidades, el motor PAP puede cumplir con las tareas necesarias para el proyecto en las condiciones expresadas tanto de torque, velocidad, eliminación de vibraciones, circuitos de control más simples, además no requiere las misma atención en mantenimiento que un servo con escobillas. Por estas razones el motor paso a paso es la opción seleccionada.

11.3.6.1 Selección del motor. Este proceso inicia con la determinación de los pulsos por segundo (PPS) necesario para opera el motor PAP, se incluye entre los cálculos los micro pasos debido a que esta es la técnica aplicada en la industria para el uso en CNC cuando se hace uso de motor paso a paso, se utiliza la ecuación 9.

$$PPS = \frac{(RPM \times \text{pasos por revolucion} \times \text{micropasos por paso})}{60 \text{ segundos por minuto}} \quad (9)$$

Para 60 RPM (60 rpm * 200 step per rev * 10 microsteps per step /60 second per minute) el motor necesita 2000 pulsos por segundos (PPS), esta será la frecuencia de trabajo del motor. En una PC de 1 GHz, Mach3 puede generar 25000 pulsos por segundo simultáneamente en cada uno de los seis ejes posibles. Entonces no habría problemas aquí. Ahora se hacen diferentes iteraciones con motores NEMA34 comerciales que a esa cantidad de pulsos brinde los requerimientos de torque dispuestos en la tabla 21 y se presta especial atención a la razón de inercia.

Tabla 21. Determinación razón de inercia de diferentes motores que cumplen los requerimientos de torque.

Fabricante	Modelo	Inercia Rotor Kg.m ²	Inercia Sistema Eje X	Razon de Inercia
Gecko Drive	G734-950-4	0.00027069348	0.007250948	27:1
National Instruments	N31HRLG- LNK-NS-00	0.00143	0.007250948	51:1
linengineering	8718S-01S	0.000140102166	0.007250948	52:1

Fabricante	Modelo	Inercia Rotor Kg.m ²	Inercia Sistema Eje Y	Razon de Inercia
Gecko Drive	G734-950-4	0.00027069348	0.018	66:1
National Instruments	N31HRLG- LNK-NS-00	0.000143	0.018	126:1
linengineering	8718S-01S	0.000140102166	0.018	128:1

Sin embargo al evaluar la razón de inercia (ecuación 8) se permite obtener una conclusión muy importante: Era necesario un reductor. En función de la relación de reducción seleccionada, el reductor disminuirá la inercia de la carga, esto es aplicable con la siguiente ecuación.

$$\text{Inercia de la Carga} = J_{\text{aparente}} * [(n_2/n_1)^2] \quad (10)$$

Al utilizar una reducción, el motor necesitaría menor torque y así se puede redimensionar de tal forma que permitiera una combinación moto reductor adecuada.

Bosch Rexroth, por ejemplo, recomienda los "buenos estándares" para trabajar con el desfase entre la relación de inercia puede ser de la siguiente manera:

- < 2: 1 para rápido posicionamiento.
- < 5:1 para moderado posicionamiento.
- < 10:1 para rápidos cambios de velocidad

Selección motoreductor.

Figura 97. Modelo PKP264D07A-SG10-L de la empresa Oriental Motor Para eje X.

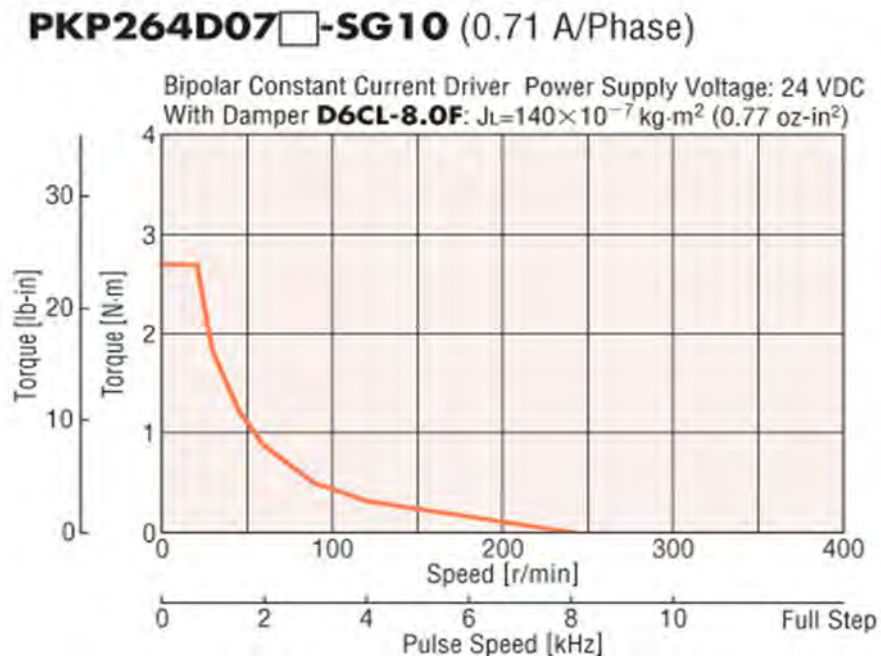


Fuente. Catalogo Oriental Motor. [En línea] [catalog.orientalmotor](http://catalog.orientalmotor.com/item/stepping-motors--1068/pk-series-stepping-motors/pkp264d07a-sg10-l). [Consultada en Julio de 2015]. Disponible en Internet: <http://catalog.orientalmotor.com/item/stepping-motors--1068/pk-series-stepping-motors/pkp264d07a-sg10-l>

Tabla 22. Especificaciones Tecnicas del Modelo PKP264D07B-SG10-L

Motor Type	2-Phase	Output Step Angle	0.18°
Frame Size	60 mm	Motor Connection Type	Connector
Motor Length	78,5 mm	Connection type	Bipolar
Holding Torque	2,7 N.m	Current per Phase (A/Phase)	0,71
Shaft/Gear Type	Spur Gear	Lead Wires	4
Gear Ratio (X:1)	10	Voltage(VDC)	8,31
Backlash	45 arc min (0,75°)	Inductance(mH/Phase)	28,8
Shaft	Single	Resistance (ohm/phase)	11,7
Type	Geared	Rotor Inertia	120 E 10 ⁻⁷ kg.m ²
Encoder	None	Insulation Class	Class B (130°C)
Basic Step Angle	1,8°	Step Accuracy	0,05°

Curva Velocidad vs Torque



El motor sera operado a una velocidad maxima de 60 RPM, anteriormente haciendo uso de la ecuacion 9, se demuestra que se hace necesario 2000 PPS; haciendo uso de la reducion 10:1. En la grafica esto es cercano a 0.8 Nm (Se requiere 0.3 Nm, es decir que se esta operando a menos del 50% del torque que

debe brindar a esa velocidad, criterio de diseño apto con el objeto de evitar el sobrecalentamiento del motor).

A continuacion se presentan los calculos para verificar la nueva razon de inercia en el Eje X.

- **Relacion motoreductor : 10:1**
- **Inercia del rotor del motor : 0.0000120 kg.m²**
- **Inercia del total del sistema sin reductor : 0.007250948 kg.m²**

$$\text{Inercia total} = 0.007250948 + 0.0000120 = 0.007262948 \text{ kg.m}^2$$

Aplicando la ecuacion 10, se tendra que:

- **Inercia total del sistema reflejada al eje del motor con el reductor: 0.000072629 kg.m².**
- **Inercia del rotor: 0.0000120 kg.m²**
- **Nueva razon de inercia = 0.0007251/0.0000120 = 6:1**

Ahora se presenta el motor seleccionado para el eje Y.

Figura 98. Motor Paso a Paso Modelo PKP264D14A-SG18-L Para Eje Y.

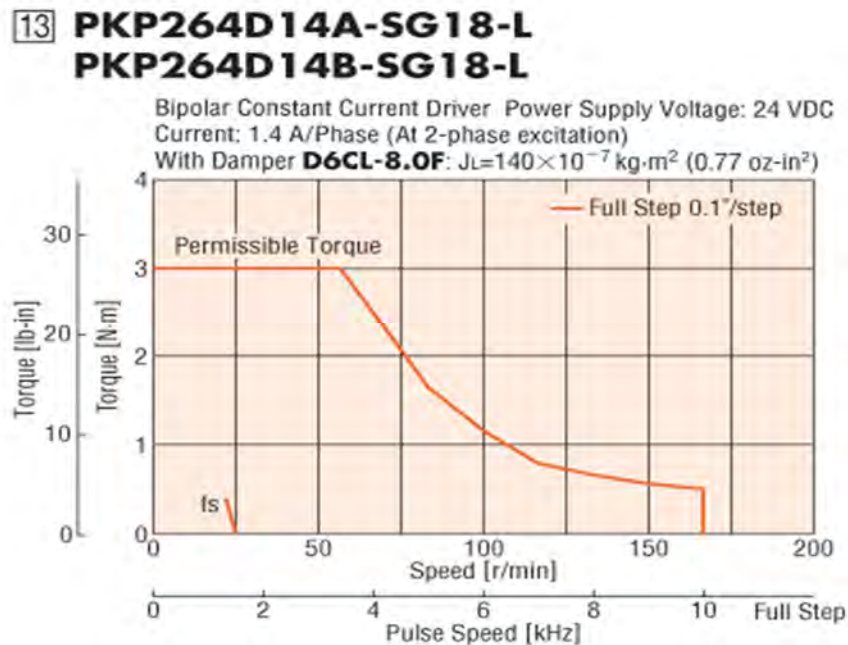


Fuente. Catalogo Oriental Motor. [En linea] catalog.orientalmotor.com/item/stepping-motors--1068/pk-series-stepping-motors/pkp264d14a-sg18-l [Consultado en Julio de 2015]. Disponible en:

Tabla 23. Especificaciones Tecnicas del Modelo PKP264D14A-SG18-L

Motor Type	2-Phase	Current per Phase (A/Phase)	1,4
Frame Size	60 mm	Lead Wires	4
Motor Lenght	78,5 mm	Voltage(VDC)	3,08
Holding Torque	3 N.m	Inductance (mH/Phase)	4.5
Shaft/Gear Type	Spur Gear	Resistance (ohm/phase)	2,2
Gear Ratio (X:1)	18	Rotor Inertia	120 E 10-7 kg.m^2
Backlash	45 arc min (0,75°)	Insulation Class	Class B (130°C)
Shaft	Single	Step Accuracy	0,05°
Type	Geared		
Encoder	No		
Basic Step Angle	1,8°		
Output Step Angle	0,10°		
Motor Connection Type	Connector		
Connection type	Bipolar		

Curva Velocidad vs Torque



De igual forma, el motor será operado a una velocidad máxima de 60 RPM, con la ecuación 9, se demuestra que se hace necesario 3600 PPS; haciendo uso de la

reducción 18:1. En la gráfica esto es cercano a 2.5 Nm (Se requiere 0.7 Nm). A continuación se presentan los cálculos para verificar la nueva razón de inercia en el Eje Y.

- **Relación motoreductor : 18:1**
- **Inercia del total del sistema sin reductor : 0.018 Kg.m²**
- **Inercia del rotor del motor : 0.0000120 kg.m²**

$$\text{Inercia total} = 0.018 + 0.0000120 = 0.0180120 \text{ kg.m}^2$$

Utilizando la ecuación 10, se tendrá:

- **Inercia total del sistema reflejada al eje del motor con el reductor:** 0.00005559 kg.m².
- **Inercia del rotor:** 0.0000120 kg.m²
- **Nueva razón de inercia = 0.00005559 / 0.0000120 = 4.6:1 = 5:1**

De esta manera se comprueba una adecuada relación de inercia y se cumple con los parámetros requeridos, con lo que estos serán los motores seleccionados.

11.3.6.2 Selección del tipo de control del motor paso a paso. Los beneficios de la técnica micro pasos en comparación con el resto de las técnicas de control para el motor paso a paso indicado en el 6.7.1.1, hace que este sea la más utilizada cuando se utiliza un motor PAP en una repotenciación y desde hace mucho existen en el mercado drive con este tipo de control. Sin embargo, el uso del reductor permite hacer que el movimiento del eje del motor sea de mayor resolución, resultando esto en un movimiento más suave, así sin reductor sería necesario hacer uso de la técnica micropasos, pero en este caso teniéndolo es conveniente trabajar el motor en modo full step.

11.3.6.3 Selección del controlador comercial para el motor paso a paso. Para seleccionar un drive comercial, como primera medida se debe determinar la frecuencia a la que trabajara el motor seleccionado, usando la ecuación 9, se determinó como 2000 PPS para el eje X y 3600 PPS para el eje Y, posteriormente se debe revisar los requerimientos de corriente y voltaje del motor seleccionado, además de las protecciones eléctricas que deben incluir estos dispositivos.

Selección de la fuente de voltaje. Un mayor voltaje al nominal hace mas rápida la transición de un paso al siguiente. La selección del voltaje se da en concordancia con las curvas de velocidad y torque presentada por el fabricante Oriental Motor, en las cuales se indican las condiciones de prueba con una fuente de voltaje a 24Vdc, sin embargo, mientras que para hallar la corriente pico que debe manejar el controlador, situación en el caso en que se necesite la secuencia full step. Se debe tener en cuenta el siguiente aspecto:

$$H = \sqrt{\left(\frac{Amp}{phase} * \cos 45\right)^2 + \left(\frac{Amp}{phase} * \sen 45\right)^2} = \frac{Amp}{phase} \times \sqrt{2}$$

Esto es para el motor del eje Y aproximadamente 1 amp, mientras que para el motor del eje X aproximadamente corresponderá a 2 amp. En el manual SureStep del fabricante Automation Direct, se recomienda luego un sobredimensionamiento de por lo menos 2 veces la corriente nominal del motor. Teniendo en cuenta este aspecto, entonces la suma de las corrientes hace necesario una fuente que suministre 6 Amp, de igual forma este sobredimensionamiento, evita que exista un sobrecalentamiento en la fuente. Finalmente los requerimientos de corriente y voltaje para la fuente de voltaje serán:

Fuente de voltaje 24VDC / 6 Amp. Comercialmente se puede encontrar fuentes que se puede ajustar el voltaje, entonces se puede encontrar la referencia de fuente de voltaje KL-350-36 que tiene 36V/9.7 A.

Figura 99. Fuente de voltaje conmutable Modelo KL-350-36



Fuente. Automation Technologies. [En línea] automationtechnologiesinc [Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/switching-power-supply/kl-600-48-48v12-5a-duplicate>

Especificaciones Técnicas

- Voltaje: 36 VDC
- Máxima Corriente: 9.7 Amp
- Protección sobre carga y corto circuito.
- Protección sobre voltaje.
- Entrada 120Vac o 220Vac

Teniendo el tipo de control que se va a implementar, los requerimientos de pulsos por segundos a los que se van a trabajar los motores, al igual que el voltaje al que van a trabajar estos y la corriente que deben utilizar, se procede a seleccionar el controlador.

El modelo KL-4030 de la empresa Automation Technologies inc, proporciona las características de protección y funcionales requeridas para el proyecto, tales como: diferentes formas de configurar el tipo de control, trabaja con frecuencias hasta 200KHz, es compatible con el motor PAP bipolar, soporta la corriente y el voltaje necesario del motor PAP para trabajar y se hace necesario 1 por cada motor, a continuación se presentan sus características técnicas.

Figura 100. Drive Seleccionado KL-4030



Fuente. Automation Technologies Inc. [En línea] automationtechnologiesinc [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/featured-cnc-products/kl-4030-24-40vdc-3-0a-microstepping-driver>

Características Técnicas

- 1: Voltaje: 24 a 40VDC, Max Corriente: 3A
- 2: Dip Interruptor de Ajuste (actual): 0.9A, 1.2A, 1.5A, 1.8A, 2.1A, 2.4A, 2.7A, 3.0A
- 3: Dip Interruptor de Ajuste (Micro Step): 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64
- 4: señal de E / S compatible con TTL y ópticamente aislada
- 5: Posibilidad de seleccionar si se hace uso de toda la corriente seleccionada (FULL) o la mitad (Half), Sw4: Off = Half.
- 6: Protección contra CortoCircuito, Sobre Tension, protección de sobre corriente y sobre temperatura
- 7: Pulso de frecuencia de entrada de hasta 200 KHz
- 8: Soporta los modos PUL / DIR y CW / CCW.

Ya seleccionado la combinación Motor/Drive, se procede a seguir con los pasos recomendados en la metodología.

11.3.7 Características de comunicación. Se deben responder la siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo: Serial o paralela? : La comunicación con un computador anfitrión puede ser desarrollada por conexión serial o por redes de comunicación (Ethernet, RS-485, Devicenet). Sin embargo, para el uso de mach3, originalmente se hace especial uso del puerto paralelo de la PC, ahora la actualización del software permite el manejo por USB. Es adecuado utilizar USB ya que la gran mayoría de computadoras cuentan con este puerto, mientras que el LPT se encuentra en menor medida. Por esta razón, y no tener problemas con la consecución de repuestos se busca una tarjeta de interfaz vía USB.
- ¿Qué tipo y cantidad de información va a ser enviada?: Señales lógicas.
- ¿Qué requerimiento de rendimientos necesita?: Para el uso de USB se hace necesario los siguientes requerimientos:

An appropriate external motion controller

Equipo de escritorio o Laptop con Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7, o Windows 8

1Ghz CPU, 512MB RAM

Tarjeta de video con 32MB RAM (Para grandes archivos de código G, especialmente archivos 3D, se requiere una tarjeta de video con 512MB de RAM o superior)

11.3.8 Requerimiento en entradas y salidas. Se responden las siguientes cuestiones:

- **¿Qué tipo y cuantas?.**

Finales de carrera de contacto. Son utilizados para prevenir sobrepasar los límites físicos de la máquina. Se harán necesarios 4 de ellos NC. Las entradas para estos se definen de tipo digital.

Home. En la automatización de máquinas–Herramientas se debe tener en cuenta determinar el “home” de la máquina, que servirá de referencia para el sistema de coordenadas. Se harán necesarios 2 de ellos NC. Las entradas para estos se definen de tipo digital.

Parada de Emergencia. Es de vital importancia un botón para la parada de emergencia, normalmente con una cabeza de hongo roja y grande. Este botón se utiliza como elemento de seguridad para detener toda actividad en la máquina con seguridad ante eventualidades, esto pone en condiciones de seguridad al proceso. Para esto se hará necesario 1 de estos, en configuración normalmente cerrado. La entrada se define de tipo digital.

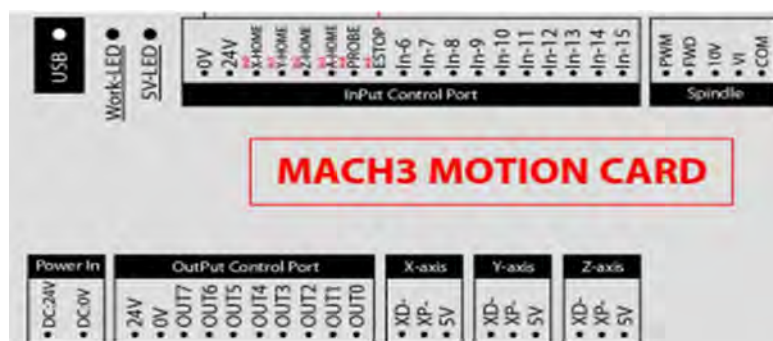
Gestión de salidas. Controlan el encendido y apagado de un elemento electrónico, en el caso del proyecto estas que las salidas corresponden a alarmas e indicadores de tipo digital, además de un rele que active y descative una válvula solenoide de 110 Vac. Para esto se hará necesario de un rele de estado sólido.

Tabla 24. Elementos de entradas y salidas

Nomenclatura	Función
Final de carrera 1	Home X
Final de carrera 2	Home Y
Final de carrera 3	Limite X+
Final de carrera 4	Limite X-
Final de carrera 5	Limite Y+
Final de carrera 6	Limite Y-
Pulsador NC	E-Stop
Rele	Activación Relé estado solido
Alarma visual (Baliza)	Alarmar

11.3.9 Interfaz de salida hardware-software (Breakout Board). También es llamada “Breakout board”. Esto le proporciona a los terminales fácil conexión a un 0 Voltio separado (común) para los controladores, los interruptores de home, límites de carrera, etc. Y evita exceder la corriente permitida que entra y sale del puerto. Esta placa interfaz, sus controladores electrónicos y suministro de potencia deben ser adecuadamente instalados en una caja de metal para minimizar los riesgos de interferencia a las señales de televisión y radio.

Figura 101. Breakout Board Mach3 Motion Card modelo MK346 de la empresa Automation Technologies Inc.



Fuente. Automation Technologies. [En línea] automationtechnologiesinc [Consultada en Julio de 2015]. Disponible en Internet :<http://www.automationtechnologiesinc.com/wp-content/uploads/downloads/2014/10/MK346wiring.pdf> .

Tabla 25. Características Tecnicas Breakout Board

AXIS OUTPUT CONTROL	Drive Current	Isolated open collector output; 5V , 20 mA
	Drive	Pulse + direction output
	Isolation Voltage	3.5KV
Spindle inverter output:3 types of output modes	Analog voltage output	0-10V
	PWM output	5V, 1HZ, Duty;0-100%
	Pulse + direction output	5V,15HZ to 4KHZ
8 I/O output	Drive Current	Isolation:50mA, 25V
	Isolation Voltage	3.5KV
16 I/O output	Input current	Isolated inputs, 5mA, maximum voltage 25V
	Isolation Voltage	3.5KV

Fuente. Breakout Boards. [En línea] automationtechnologiesinc [Consultada En Junio de 2015]. Disponible en Internet : <http://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/breakout-boards/cnc-mach3-usb-card-xhc-mk4-4-axis-motion-control-card-usb2-0-interface-wshell-duplicate> .

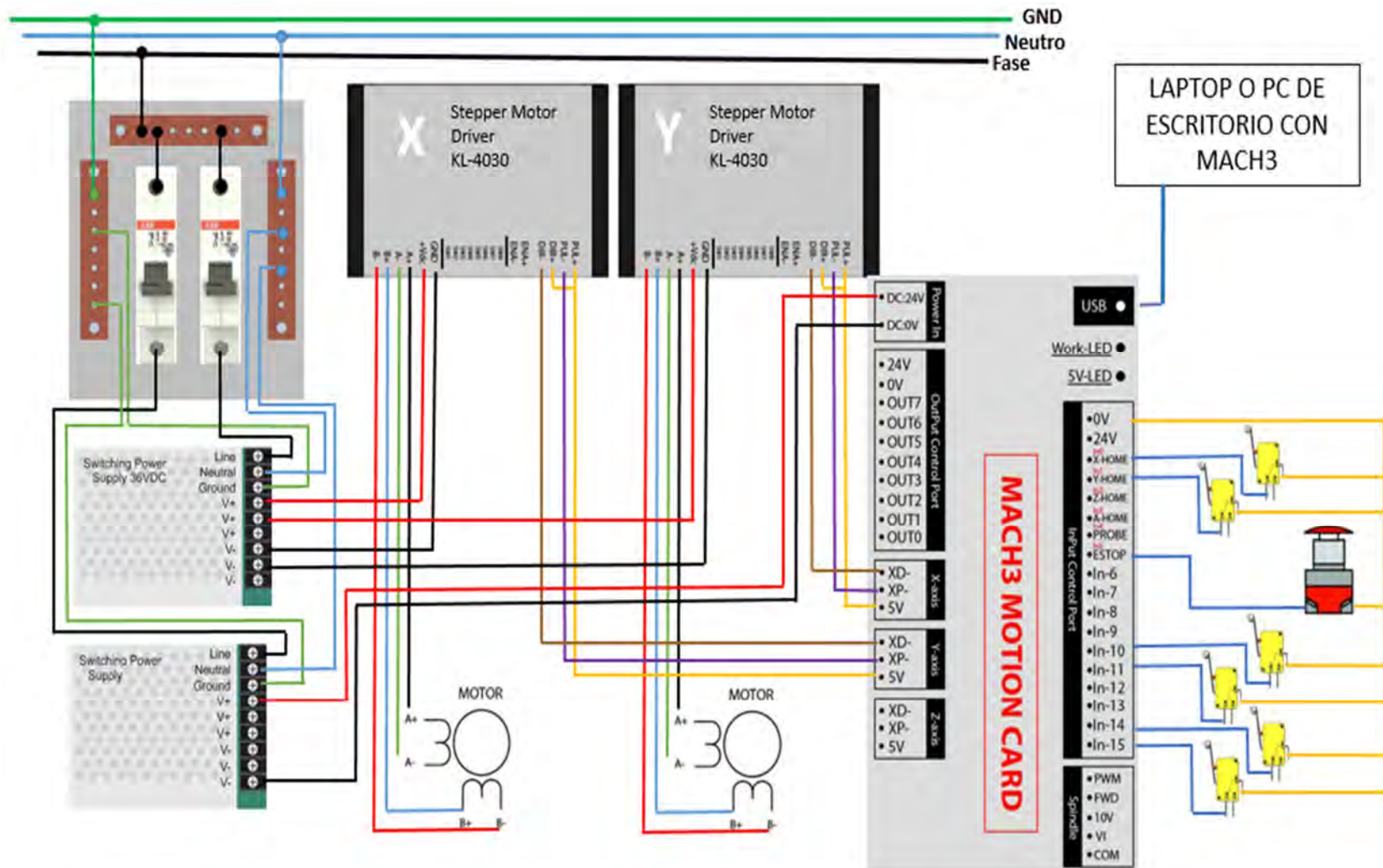
Esta interfaz necesita una fuente regulada de 24 Vdc independiente de la de los motores, para su funcionamiento. Comercialmente se puede encontrar la referencia KL-150-24. De esta fuente se pueden alimentar las salidas.

Figura 102. Fuente de 24V/6.3A Switching CNC Power Supply (KL-150-24)



Fuente. Fuente de 24Vdc / 6.3 Amp. [En línea] automationtechnologiesinc [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/switching-power-supply/kl-600-48-48v12-5a-duplicate-2>.

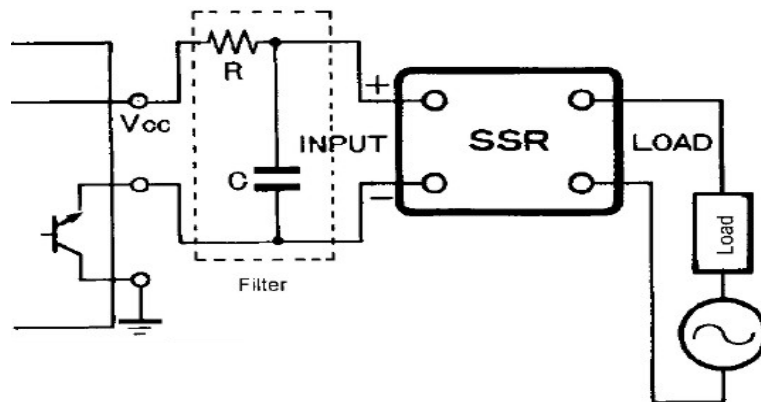
12. DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS



Las entradas en la placa Mach3 motion control corresponde a los finales de carrera tanto de limite como para el HOME de la maquina al igual que el botón de paro por emergencia se disponen en el esquema para trabajar con activación por bajo.

Las salida están disponibles en la mach3 motion card y se puede conectar diferentes elementos para activar diversas cargas y controlarlas desde el software CNC, esto es alarmas audio visuales al igual que un relé que active elementos a 120Vac como por ejemplo la válvula solenoide de la máquina. Como se indicó en apartados anteriores la válvula solenoide se debe conectar a la salida para activar y desactivar el paso de los gases combustibles en el soplete de oxicorte. Esto es un posible uso de estas salidas para un Relé de estado sólido, muy utilizado en máquinas CNC para hacer esta interfaz entre el circuito de control y un circuito de potencia, en el cual se encuentra la carga.

Figura 103. Interfaz entre el circuito de control y circuito de potencia posible en las salida del mach3 motion card.



Fuente. Conexión SSR. [En línea] fabricatupropioroutercnc. [Consultado en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/rele-de-estado-solido.html>.

“Se conectan los dos pines de la entrada del relé a un pin de salida y un pin de GND (Ground/Tierra). La salida del relé es un interruptor sólido (Triac) y este se conecta un pin a la carga y otro pin a línea o fase, el otro pin de la carga se conecta a neutro y de esta forma se cierra el circuito.”²³.

²³ AMADOR, Carlos. Relé de estado sólido. [En línea] fabricatupropioroutercnc. [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/rele-de-estado-solido.html>

➤ Cables de conexión

- Cables Fase, Ground y Neutro.

Se tiene una corriente máxima que al sobredimensionar era de 6 amperios multiplicado el factor de sobredimensionamiento (1.25) se tendrá 7.5 Amp, esto lo soporta un AWG 10. Esto es para la parte de potencia.

- El fabricante de los motores brinda la información que los cables de salidas de los motores paso a paso son AWG 22. La corriente pico máxima en el caso del motor del eje Y es 2 Amp, de igual forma para las señales de control se hace uso del cable AWG14. De igual forma para los periféricos del sistema.

13. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE MACH3

La configuración de los diferentes parámetros de corte por plasma se realizan en el software mach3, para esto se deben seguir los pasos indicados en los manuales de los fabricantes tanto del software como del hardware, disponibles en las páginas web oficiales. La activación y desactivación de la válvula solenoide se puede hacer con la activación/Desactivación de un relé de estado sólido y esto se hace con los códigos M, esto se profundiza en los blogs de servicios técnico de <http://www.machsupport.com/>. En la bibliografía se puede encontrar las direcciones web necesarios para la configuración de esta propuesta.

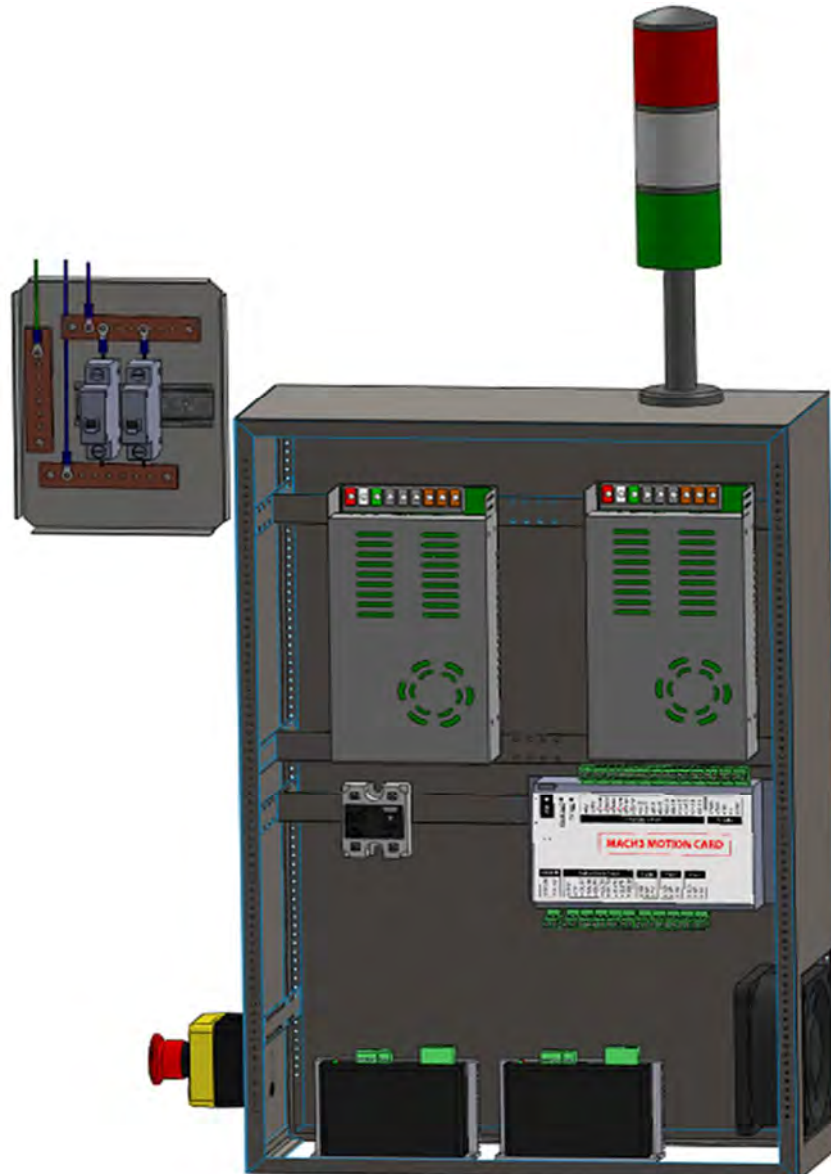
14. KIT DISEÑADO



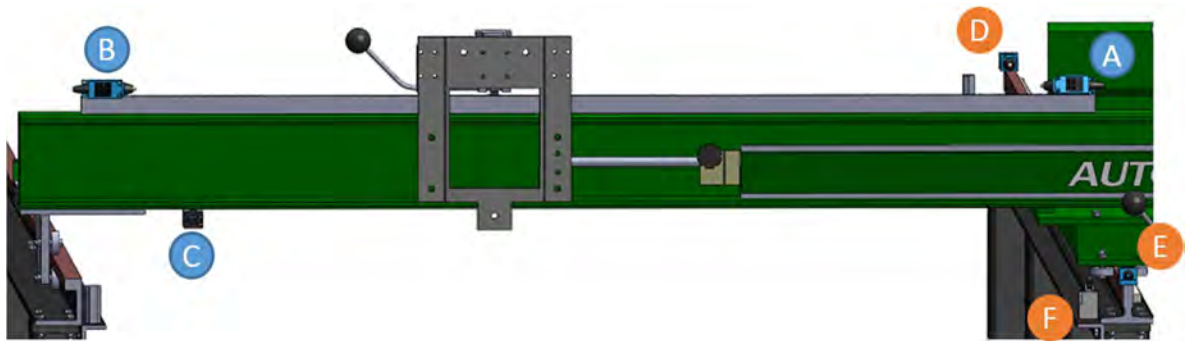
15. DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS PARA EL MONTAJE.

15.1 GABINETE ELÉCTRICO.

Figura 104. Montaje en el cofre eléctrico (derecha) y centro de distribución de carga (izquierda)



15.2 DISPOSICIÓN FINALES DE CARRERA Y HOME



Eje X	Limite X+ : A	Limite X- : B	Home X: C
Eje Y	Limite Y+ : D	Limite Y- : E	Home Y: F

Figura 105. Eje Y: Limite Y- y Home Y

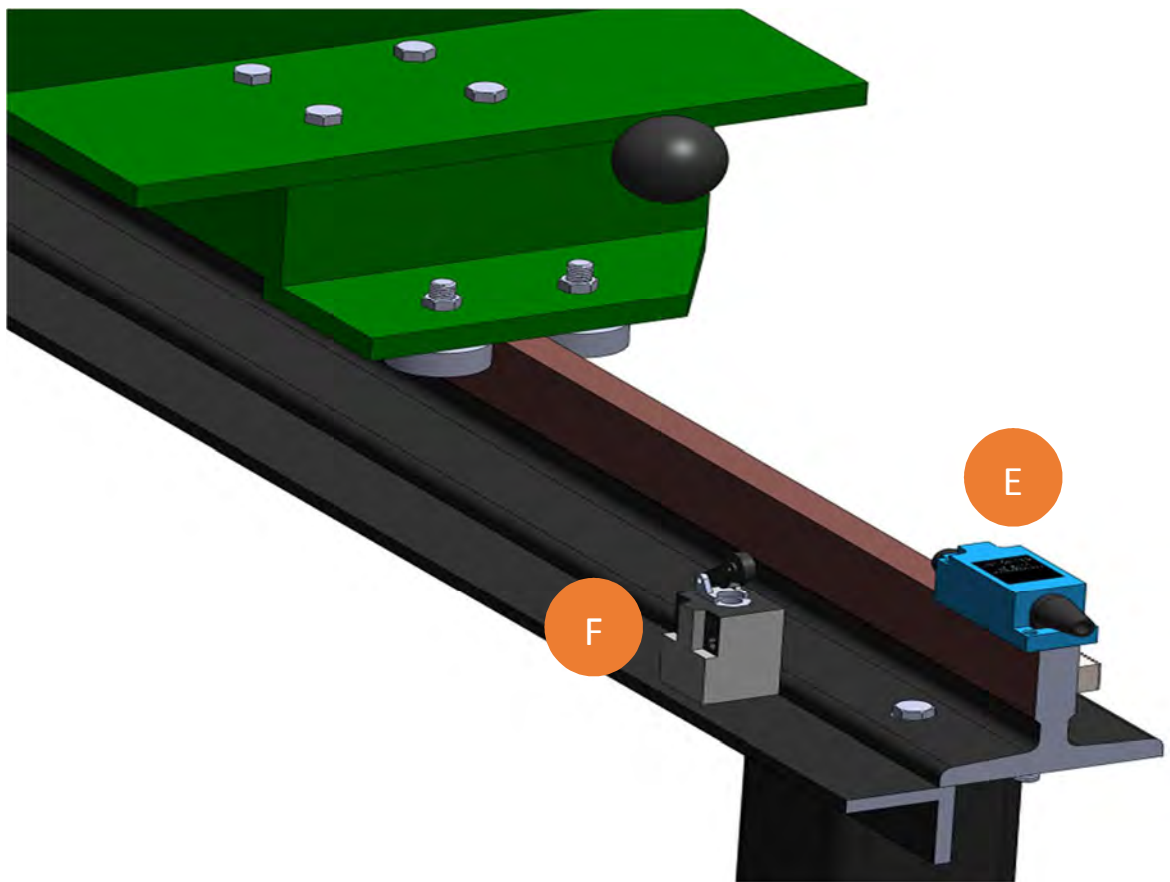
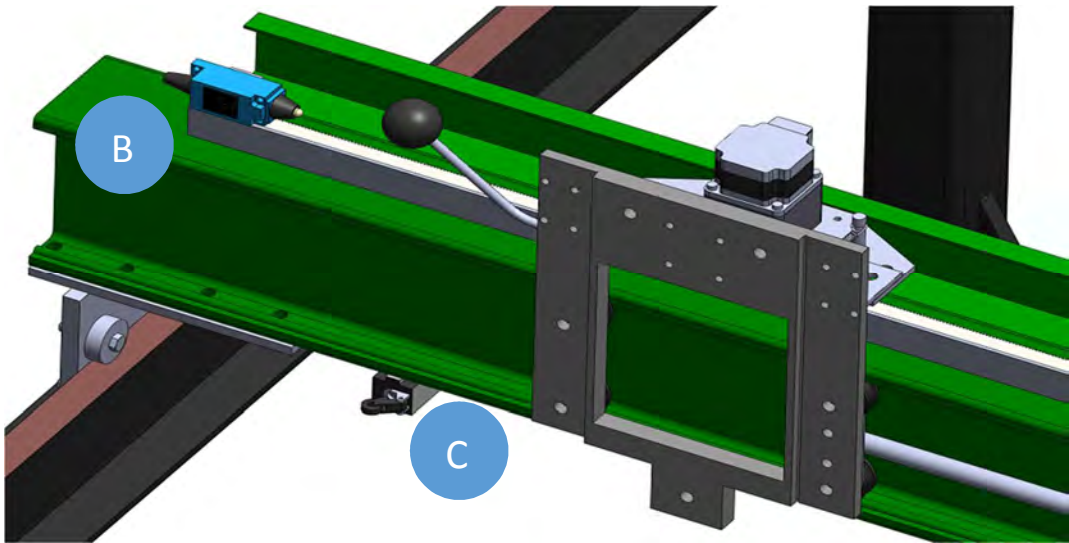


Figura 106. Eje X: Limite X- y HOME X



15.3 UBICACIÓN MOTORES

Eje Y	H
Eje X	I

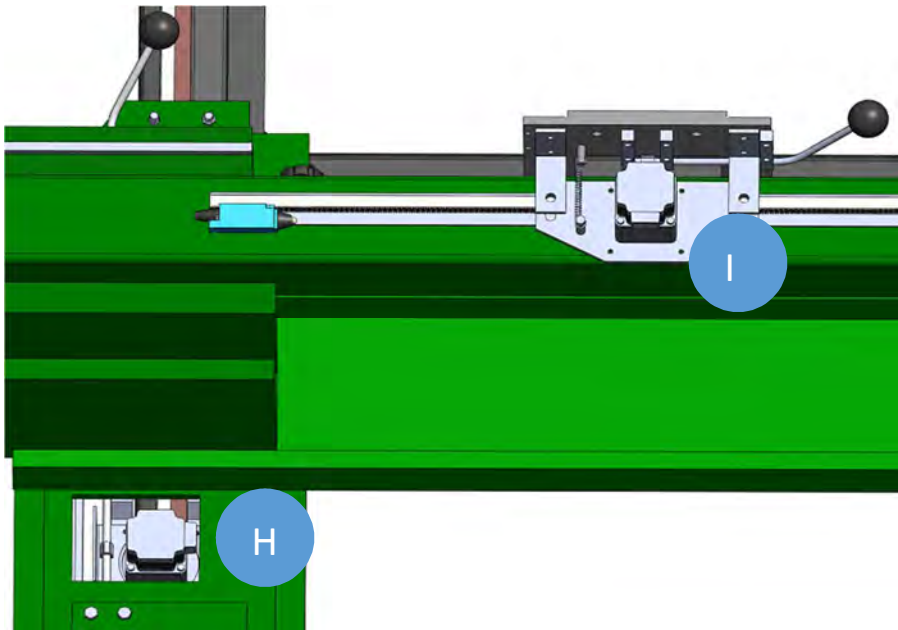


Figura 107. Ubicación motor Eje Y.

Se aplicó transparencia para poder visualizar el componente.

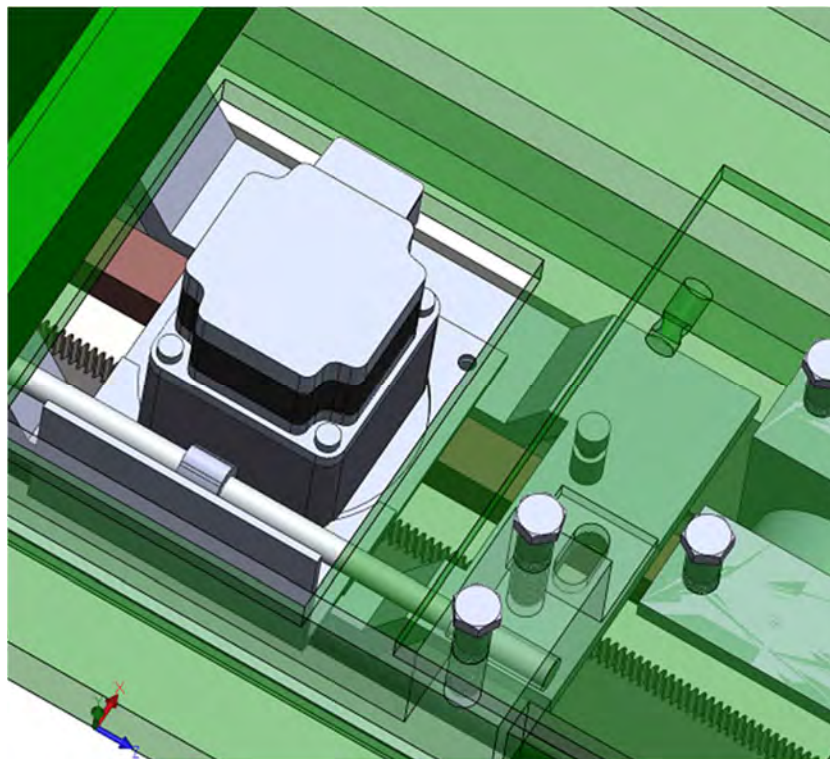
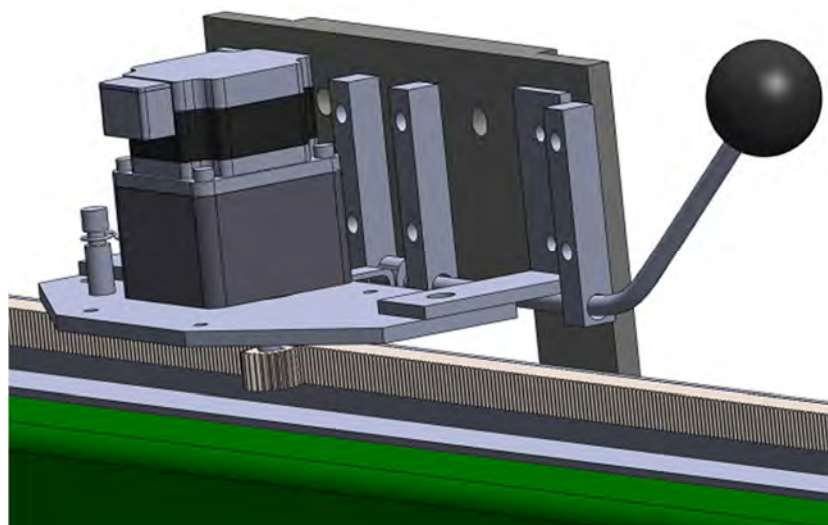
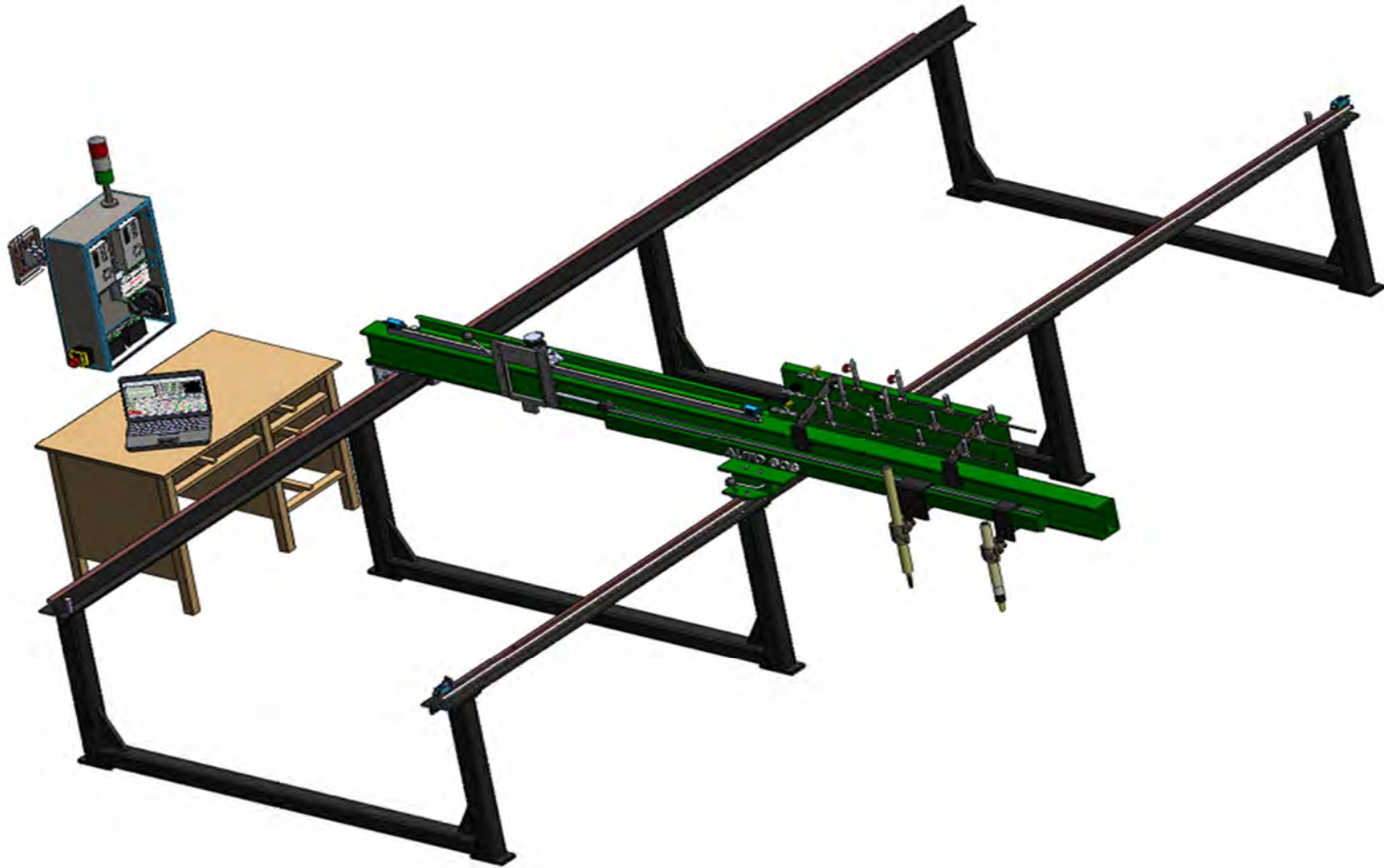


Figura 108. Ubicación motor Eje X.



15.4 UBICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS EN EL ÁREA PRODUCTIVA.



16 CONCLUSIONES

Este proceso de ingeniería ha permitido brindar una propuesta de repotenciación del pantógrafo Victor Auto 60S, proceso que bajo la metodología de ingeniería concurrente permite brindar una propuesta donde se integran el sistema mecánico de la maquina con nuevos sistemas computacionales, eléctricos y estrategias de control utilizadas actualmente en la industria. Así se ha brindado una propuesta que da como resultado el hecho de descargar funciones al operario y reducción de costos en lo que concierne a la elaboración de una plantilla de papel.

La etapa de diseño conceptual contemplo el estudio del proceso, esto permitió tener los detalles de éste, ayudo a la identificación de las variables del proceso, además de identificar las premisas y restricciones que dieran lugar para el proyecto. En esta etapa se dio la identificación de necesidades del cliente, con el objeto de evaluar la viabilidad de esas necesidades se contó con la opinión de expertos en materia de repotenciación de MH. El refinamiento de las necesidades permitieron extraer las especificaciones técnicas del proceso siendo de mayor importancia que el proceso fuese automático descargando las funciones extras actuales del operario.

También se logró, la construcción del modelo tridimensional de la máquina, situación que permitió la adecuada integración con otras etapas de diseño en la repotenciación.

Al seguir la metodología se procedió a la generación y posterior evaluación de las mejores soluciones al problema y finalmente, discernir la más conveniente para el proyecto en función de los requerimientos con mayor importancia. Con este proceso y las recomendaciones técnicas dadas por los expertos en materia de repotenciación en MH, se contempla el emigrar del lector óptico al Control numérico computarizado. Para esto se utilizó un lazo de control abierto, haciendo uso de motores paso a paso con reductor, y un controlador CNC basado en PC denominado mach3, que se comunica con los drives de potencia, que hacen uso de la técnica full step con el objeto de operar los motores a los requerimientos de velocidad y torque calculados en la etapa de diseño detallado y con el fin de mitigar el problema de vibraciones en el movimiento de la máquina, se involucró el reductor. Al igual se incluye los sistemas de seguridad tanto para la maquina como para el operario.

Gracias a la realización de este trabajo, se adquirieron nuevos conocimientos en cuanto a técnicas de control de motores paso a paso y las nuevas tendencias en repotenciación de máquinas herramientas por medio de software CNC.

17 RECOMENDACIONES

Al agregar la capacidad CNC al pantógrafo Victor Auto 60S de la marca Thermadyne, significa colocar un equipo en una máquina que en el uso de más de 20 años presenta desgastes normales y el CNC al brindar precisión y exactitud se anularía colocándolo en una máquina que mecánicamente ya no es precisa, actualmente la tolerancia de la maquina es de 2.5 ± 0.5 mm, situación que no va a permitir entrar a competir en el sector donde hay máquinas que ofrecen resultados con tolerancias muy por debajo de esta cifra, con acabados superiores, mayor productividad, reducción del uso de la energía haciendo uso de control altura, etc.

Es importante resaltar que no es necesario desechar la maquina Victor Auto 60S junto al HL-90, con la cual se puede seguir cortando piezas especiales y puntuales, esto significa que sigue siendo funcional pero obsoleta, el HL-90 fue un éxito en su momento pero actualmente se ha emigrado al Control Numérico computarizado integrados a máquina que aprovechan al máximo su precisión y exactitud.

Otras recomendaciones incluirían:

- Actualmente en las maquinas automatizadas para el corte por oxicorte y plasma se está haciendo de la dotación de un eje Z para hacer el uso de un control denominado “THC”, esto es un controlador de altura, que además de disponer la ventaja de optimizar el uso de la energía, permite apagar y encender el flujo de gases que interviene en el corte, entre otras tantas ventajas.
- Se recomienda el uso de un sistema CAD/CAM especialmente concebido para automatizar la programación de máquinas de corte de chapa por oxicorte y plasma, puede ser una opción el software Lantek. Además, de verificar que incluyan en su módulo, el optimizador de material especializado para máquina de corte por oxicorte y plasma, esto por ejemplo, se denomina el módulo Nesting en el software Lantek.
- Agregar a una maquina un CNC tiene mucho sentido cuando se aprovecha al máximo su precisión y exactitud, y se da con el objeto de ofrecer calidad, productividad, eficiencia y mejores precios. Por este motivo se recomienda mantener el pantógrafo Victor Auto 60S con el HL-90, para seguir cortando piezas especiales y puntuales y hacer una inversión que le permita introducirse en el campo del corte CNC programable, con una maquina nueva que le ofrezca

muchas posibilidades de tecnificación y productividad. Para lograr eso hay que hacer inversiones en tecnología, las cuales de acuerdo a las capacidades y expectativas de la empresa, pueden ser bajas, medianas o altas.

- Entre las variable del proceso se encuentra la velocidad lineal de corte, esto en gran medida depende de la mecánica de la máquina. En el pantógrafo Victor Auto 60S se recomienda mantener como máxima operación de 3000mm/min. El deseo de aumentar la velocidad usando los mecanismo de la maquina puede desembocar en vibraciones, situación no deseada.
- Se recomienda capacitar al personal en el uso de G-code y M-code, debido a que en algún momento se puede hacer necesario crear o modificar un programa especial. De igual forma es importante que se capaciten en el uso del software Mach3.

BIBLIOGRAFÍA

ALAVALA, Chennakesava R. CAD/CAM: Concepts and Applications. Prentice Hall. 2008. 564 p.

AMADOR, Carlos. Relé de estado sólido. [En línea] fabricatupropioroutercnc [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/rele-de-estado-solido.html>

ARMESTO QUIROGA, José Ignacio. Instalación de sistemas de Automatización y Datos [En línea]. Universidad de Vigo. 2008. [Consultada en Diciembre de 2014]. Disponible en Internet: tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1369/ISAD_Tema3_1.pdf

BERGER LAHR. Formulas + calculations for optimum selection of a stepmotor. [En línea] esteca55. [Consultado en Mayo de 2015]. Disponible en Internet : http://www.esteca55.com.ar/downloads/Selection_PaP1-1.pdf

CAD/CAM Aspectos Generales. [En línea][Consultada en junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.weissdesign.com/cad1.html>.

Computer Numerical control. [En línea] buffalo [Consultada en febrero de 2015]. Disponible en Internet: <http://wings.buffalo.edu/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>

Controladores CNC. [En línea] virtual.unal.edu [Consultada en Marzo de 2015]. Disponible en Internet: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/otros/Controladores%20CNC.pdf

Control numérico para Máquinas-Herramienta. [En línea] ehu.es [Consultado en Octubre de 2014]. Disponible en Internet: http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/737_ca.pdf

Elementos transmisores y transformadores del movimiento. [En línea] interept.jimdo [Consultado en Enero de 2015]. Disponible en Internet: http://interpt.jimdo.com/app/download/9208598871/ELEMENTOS_Mecanicos.pdf.

Fundamentos de Control de Movimiento. National Instruments. 2014 [En línea] ni.com [Consultada en Febrero de 2015]. Disponible en Internet: www.ni.com/white-paper/3367/es/pdf

GARCIA ARANA, Jorge Mario. Guía para el laboratorio de maquinado CNC [En línea]. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0654_M.pdf

HL-90 Tracing Systems Service Manual Rev G. I.B 495 - 100. Linatrol System Inc. 510 p.

Introducción a Mach3. [En línea] peu.net [Consultado en Diciembre de 2014]. Disponible en: www.peu.net/syil/mach3.pdf

IZQUIERDO CASAS, Eusebio. Estudio del proceso de fabricación y montaje de una máquina herramienta de corte con control numérico. Universidad de Salamanca. Julio 2006. [En línea]Universidad de Salamanca [Consultada en abril de 2015]. Disponible en Internet: <https://goo.gl/2gPZyL>

JACINTO, Alberto Daniel. MAYSSE, José Arturo. Integración de una mesa X-Y implementada con servomotores. [En línea] itzamna.bnct.ipn [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/13079

JIMENEZ, Ricardo. Control Numérico por Computadora (CNC). [En línea] materias [Consultada en Febrero de 2015]. Disponible en Internet: materias.fi.uba.ar/7565/U4-control-numerico-por-computadora.pdf

KALPAKJIAN, Serope. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Quinta edición Prentice Hall. 2008. 1328 p.

LASHERAS, José María. Tecnología mecánica y metrotecnica. 1996. Octavio y félez, S. A. 879 P.

LOPEZ MARTINEZ, Alejandro. Manual oxicorte Teórico-Práctico. [En línea] Universidad de Almería, 2012. [Consultado en Febrero de 2015]. Disponible en Internet: http://www.ual.es/personal/alm212/documentos/MANUAL_II.pdf

Manual Mach3 Controller Software Installation and Configuration V3. [En línea] machsupport [Consultada en Marzo de 2015]. Disponible en Internet : http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_Install_Config.pdf

Maquinas-Herramientas. [En línea] enciclonet [Consultada en Octubre de 2014]. Disponible en internet: <http://www.enciclonet.com/articulo/maquina-herramienta/>

MARCELO SUAREZ, Jose Ignacion. Arquitectura de control electrónico en cuadros de maniobra de máquinas de control numérico para corte por plasma y oxigas. [En línea]. En: Revista DYNA. Marzo, 2014. Vol 89. p. 211-219. [Consultada en Diciembre de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.revistadyna.com/busqueda/arquitectura-de-control-electronico-en-cuadros-de-maniobra-de-maquinas-de-control-numerico-para-cort>

Motores Paso a Paso. Modulo de Instrumentación y comunicaciones digitales. [En línea]. Universidad Nacional de la Plata. [Consultada en junio de 2015]. Disponible en internet: http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/PPT_Motores_Paso_a_Paso.pdf

GROOVER, Mikell. Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y sistemas. 1997. Pearson Educacion. 1062 p.

O'NEIL, Stephen. Motion Control Handbook. [En línea][Consultado en Diciembre de 2014]. Disponible en Internet: <http://goo.gl/qA5DRP>

Mach3. [En línea] machsupport. [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>

Pantógrafos CNC. [En línea] ferrocortes. [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.ferrocortes.com.co/maquinaria-y-equipo/pantografos-cnc>

Plasma. [En línea] cortemetal [Consultada en Marzo de 2015.]. Disponible en internet: <http://cortemetal.com.co/cortemetal-servicios-metalmecanicos/>.

Repotenciación de máquina. Alternativa Técnica y económicamente viable. [En línea]. En: Revista Metal Actual. Vol 23. p. 32-37 [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.metalactual.com/revista/23/maquinaria_repotenciacion.pdf

Retrofit en la Industria. [En línea]. En: Revista Electro industrial. Julio 2011. [Consultada en enero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1647>

ROJAS, Jose Álvaro. Diapositivas de Clase Proyecto II/Moodle/[en línea]Universidad Autónoma de Occidente de Cali/Colombia. [Consultada en enero de 2015]. Disponible en internet: <http://augusta.uao.edu.co/moodle/course/enrol.php?id=4546>

Retrofit. Schneider Electric. [En línea] schneide [Consultado en Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.schneider-electric.com.mx/sites/mexico/es/productos-servicios/servicios/modernizacion-y-ampliaciones/Retrofits/Retrofits.page>

Step Motor Basics - Lin Engineering . [En línea] linengineering [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en internet: [http://www.linengineering.com/contents/stepmotors/pdf/Product Guides/Lin RG S tepMotorBasics.pdf](http://www.linengineering.com/contents/stepmotors/pdf/Product%20Guides/Lin%20RG%20StepMotorBasics.pdf)

SUH, Suk-Hwan. KANG Seong-Kyoon. CHUNG Dae-Hyuk. STROUD Ian. Theory and Design of CNC Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. London: Springer, 2008. 455 p.

SureStep Stepping System: Motors. AutomatioDriect. [En línea] automationdirect [Consultada en Junio de 2015]. Disponible en Internet: <https://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanual/surestepmanual.pdf>

Teoría corte por oxicorte. [En línea] artinaid [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-oxicorte/>

Teoría corte por plasma. [En línea] artinaid [Consultada en Mayo de 2015]. Disponible en Internet : <http://www.artinaid.com/2013/04/el-corte-de-plasma/>

THERMADYNE Víctor. Manual Técnico Auto 60S (608.192.4). Brasil. Enero/99. 42 p.

ULRICH T., Karl. D. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. Quinta Edición. Mc Graw Hill Education. 434 p.

VOSS, Wilfred. A Comprehensive Guide to Servo Motor Sizing. Copperhill Technologies Corporation. 158 p.

ANEXOS

ANEXOS A. Elementos del kit

Cofre metálico

Los cofres metálicos son una excelente solución para el montaje de gran variedad de equipos eléctricos.

Estos ofrecen una gran robustez y hermeticidad lo cual garantiza una mayor durabilidad tanto del tablero como de los equipos que van al interior del mismo. En su interior llevan un doble-fondo metálico removible para montaje de equipos y, en el costado inferior tiene knock-outs para entrada y salida de tubería.

Este producto es fabricado en lámina de acero cold-rolled, sometida a proceso químico de bonderizado y fosfatado por inmersión en caliente, con acabados finales en pintura en polvo horneable color Beige Duna (Ral 7032) de aplicación electrostática.

Figura 109. Cofre Metálico. Modelo RB COF60



Fuente. Industrias Rebra SAS. [En línea] [Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://industriasrebra.com/shop/productos-en-linea/cofres/>

Referencia	Altura H (mm)	Ancho A (mm)	Profundidad (mm)	Calibre lamina
RB COF60	600	400	250	18

Precio incluido Iva = \$ 192.800

Centro de Carga

Son los dispositivos encargados concentrar y distribuir la electricidad y contiene las protecciones termomagnéticas. Se seleccionó un tablero monofásico para distribución modelo TML-4B0; este Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 4 circuitos

Características Técnicas:

- > Barraje en aluminio estañado
- > Corriente nominal del barraje para 75 A
- > Tensión nominal: 120-240 V
- > Número de fases: 1, 2 hilos + tierra
- > Barras de neutro y tierra instaladas
- > Certificación CIDET

Fuente. Catálogo de precios Legrand. [En línea][Consultado en Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.legrand.com.co/images/folletos/Lista-Precios-Dispositivos-y-aparatos-Electricos-Legrand-2015.pdf>

Precio: \$35.700 (Sin incluída iva)

Ventilador.

Figura 110. Modelo EEC0252B1-G99



Productor: Sunon
Alimentación: 24VDC
Medidas 120 x 120 x 25 mm
183,83m³/h; 44,5dBA; IP54

Precio: \$ 30.134 (Sin iva incluída)

Fuente. SUNON EEC0252B1-000U-G99. [En línea][Consultado en Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.tme.eu/es/details/eec0252b1-g99/ventiladores-dc-24v/sunon/eec0252b1-000u-g99/>

Breaker

Figura 111. Breaker de Riel ABB Monopolar 1 x 10A. **Precio:** \$ 9.400 (incluid Iva)



Number pf poles	1
Rated Current (A)	10,00
Rated Operational Voltage	IEC60947-2 230 V AC
Rated Frequency (f)	50 - 60 Hz
Rated Ultimate Short-circuit Breaking	25 kA
Rated Service Short-circuit Breaking	12,5KA
Overvoltage Category	III
Degree of protection	IP20
Mechanical Endurace	20000 cycle

Fuente. InterElectricas. [En línea] [Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.interelectricas.com.co/product.php?idcategoria=4&idsubcategoria=259&idprodu=1766&pronon=Breaker%20de%20Riel%20%20ABB%20%20Monopolar%20%3Cbr%3E1%20x%2010A%20-%20%20206%20KA>

Botón paro de emergencia

Figura 112. Botón de emergencia Schneider Electric referencia XALK178.



Precio: \$ 98.374

Anchura	68 mm
Color	Amarillo
Configuración Normal del Estado	1 NC
Corriente de suministro	1,2 A
Dimensiones	68 x 68 x 91,5 mm
Diámetro de Cabezal	40 mm
Estilo de Cabeza	Seta
Longitud	68 mm
Luminoso	No
Método de Reinicio	Girar para restablecer
Tipo de Montaje	Panel
Grado Protección	IP65

Fuente. Botón de Emergencia. <http://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores-de-parada-de-emergencia/7951295/>

Relé de Estado Solido

Figura 113. Relé de estado sólido. Modelo G3NA-210B-DC5-24

Fabricante: Omron Automation and Safety



Características Técnicas

Rango de voltaje de control: 5 VDC to 24 VDC
Régimen del voltaje de carga: 19 VAC to 264 VAC
Régimen de corriente de carga: 10 A
Forma de contacto: SPST (1 Form A)
Dispositivo de salida: SCR
Estilo de montaje: Panel
Producto: Industrial Mount
Serie: G3NA
Precio: \$ 42.784 (Sin incluíd iva)

Fuente. Mouser Electronic. [En línea][Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://co.mouser.com/ProductDetail/Omron-Automation-and-Safety/G3NA-210B-DC5-24/?qs=sGAEpiMZZMtq49AUx5G37x4sUP8FBQ5O5nWu5w7eSY8%3d>

Figura 114. Columna de Señalización de dos elementos XVMB1RG 24Vdc



Tipo unidad banco indicador: 2 unidades iluminadas.
1 Tubo de neón: Rojo bombilla incandescente, Verde bombilla incandescente.
Color de bloque luminoso: Rojo/Verde.
Tensión de alimentación: 24 VAC/CC
Modo de montaje: Vertical
Cable Saliente: AWG 22
Grado protección: IP54
Precio: \$ 330. 609

Fuente. Scheneider Electric. [En línea][Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/products/es/es/>

Figura 115. Horqueta roja VY 1 - 5SV 3/16 6 unidades Electric Line



Fuente. HomeCenter. [En línea][Consultada en julio de 2015]. Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/84153/Horqueta-roja-VY-1--5SV-3-16-6-unidades?navAction=push>

Figura 116. Aislada en nylon hembra amarillo FF5-6 10-12. 6 unidades Electric Line



Tipo: Terminal

Uso: Enchufable tipo hembra para hacer empalmes de cable con una conexión y des-conexión sencilla; se utiliza para el ensamblaje y mantenimiento de sistemas y aparatos eléctricos.

Fuente. HomeCenter. [En línea][Consultada en julio de 2015]. Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/84179/Aislada-en-nylon-hembra-amarillo-FF5-6-10-12-6-unidades?navAction=push>

Figura 117. Regleta 12 puntos conexión 12 AWG




Precio: \$ 3.900

Fuente. HomeCenter. [En línea][Consultada en julio de 2015]. Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/92270/Regleta-12-puntos-conexion-12-AWG-Negra?navAction=push>

Figura 118. a) Cable para control AWG 14. Referencia 201045. B) Cable Multiconductor AWG 10 Referencia 201558

CABLES PARA CONTROL
THHN/THWN-2 90°C 600V TC SR



Conductores de cobre suave, aislados tipo THHN/THWN-2 retardante a la llama. Chaqueta en PVC apto para bandejas y resistente a los rayos solares.

Norma: RETIE, UL-1277, ICEA S-73-532

CÓDIGO FÁBRICA	CALIBRE AWG	PRECIO BASE (\$/m)
205146	2 x 14 + 20	7.333
205169	4 x 14 + 20	12.600
203802	5 x 14 + 20	15.263
201045	7 x 14 + 20	20.784
206786	10 x 14 + 20	29.104
203322	12 x 14 + 20	34.851
200982	2 x 12 + 20	9.952
200991	4 x 12 + 20	17.122
205629	7 x 12 + 20	26.289
205625	12 x 12 + 20	43.712
205020	4 x 10 + 20	23.536

a)

CORDONES PORTÁTILES
CABLES ST-C "ENCAUCHETADO" 105°C 600V VW-1



Cable multiconductor. Dos, tres o cuatro conductores de cobre suave flexible, aislados con material termoplástico, cableados entre sí y con una chaqueta común estriada y retardante a la llama.

Norma: RETIE, NTC 2050, NTC 5521

CÓDIGO FÁBRICA	CALIBRE AWG	PRECIO BASE (\$/m)
201545	2 x 18	1.965
201546	3 x 18	2.671
201548	4 x 18	3.397
201547	2 x 16	2.671
201549	3 x 16	3.475
201551	4 x 16	4.072
201550	2 x 14	4.244
201552	3 x 14	5.219
201554	4 x 14	6.210
201553	2 x 12	5.769
201555	3 x 12	7.295
201557	4 x 12	8.647
201556	2 x 10	7.782
201558	3 x 10	9.872
201560	4 x 10	11.869
201561	2 x 8	12.498
201562	3 x 8	16.081
201563	4 x 8	20.751
201564	2 x 6	18.550
201565	3 x 6	24.523
201566	4 x 6	32.227

b)

Fuente. Catálogo de precios Centelsa. [En línea][Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://dys-sas.com/pdfcat/Lista%20de%20Precios%20CENTELSA%20290.pdf>

Figura 119. Interruptor de Fin de Carrera de Seguridad Omron Ref: D4N-4131.



Fabricante: Omron Industrial Automation
 Configuración normal del estado: NA/NC
 Dimensiones: 83.6 x 31 x 31.5 mm
 Numero de contactos: 2
 Tipo de acción: A presión
 Tipo de actuador: Pulsador con roldana
 Tipo de conexión: roscado
 Vida útil: 15'000.000 ciclos.
 Grado de protección: IP67
 Precio: \$ 39.175

Fuente. Rs-Online. [En línea][Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: http://es.rs-online.com/web/p/interruptores-de-final-de-carrera-de-seguridad/7467251/?origin=PSF_421290

Figura 120. Interruptor de Fin de Carrera de Seguridad Omron Ref: D4N-1120.



Fabricante: Omron Industrial Automation
 Configuración normal del estado: NA/NC
 Dimensiones: 73 x 31 x 47 mm
 Numero de contactos: 2
 Tipo de acción: A presión
 Tipo de actuador: Palanca de rodillo
 Tipo de conexión: roscado
 Vida útil: 15'000.000 ciclos.
 Grado de protección: IP67
 Precio: \$ 40.501

Fuente. Rs-Online. [En línea][Consultada en Julio de 2015]. Disponible en: <http://es.rs-online.com/web/p/interruptores-de-final-de-carrera-de-seguridad/6211515/>